

רעש וריצוד מטורבינות רוח – דרכי התמודדות בעולם והמלצות לישראל

סקירות

גיליון סתיו 2018 / כרך 9 (3)

October, 2018 ב 12

ארו פרי

בית הספר ללימודי הסביבה ע"ש פורטר, אוניברסיטת תל-אביב

אלון טל

החוג למדיניות ציבורית, אוניברסיטת תל-אביב

דפנה דיסני

בית הספר ללימודי הסביבה ע"ש פורטר, אוניברסיטת תל-אביב; החוג לכלכלה, המכללה האקדמית תל-חי

ציטוט

פרי א, טל א ודיסני ד. 2018. רעש וריצוד מטורבינות רוח – דרכי התמודדות בעולם והמלצות לישראל. *אקולוגיה וסביבה* 9(3): העתק

תקציר

פיתוח של טורבינות רוח בישראל מסוגל לסייע ביצירת תמהיל נכון לאנרגיות מתחדשות, ביחד עם אנרגית השמש. כך נוכל להפחית ייצור חשמל מדלקי מחצבים ונצמצם את פליטת גזי החממה. ייצור חשמל מרוח קיים במדינות רבות בעולם וצובר תאוצה במאה ה-21. על אף יתרונותיה הרבים של אנרגיית הרוח, קיימים מספר חסמים לקידומה בארץ.

במאמר מובאת סקירת ספרות של שניים מבין החסמים הללו – רעש וריצוד (עוצמת אור משתנה באזורים מסוימים בגלל הטלת צל להבי הטורבינה). התופעות הללו יוצרות התנגדות בקרב ציבור המתגורר בסמיכות לאזורים המיועדים לפיתוח טורבינות רוח. מטרדי הרעש והריצוד ניתנים למדידה וישנן דרכים להתמודד עימם, לרוב דרך תכנון נכון ומדיניות מחושבת. בדיקת השפעת הרעש והריצוד בתנאים הקיימים במדינת ישראל, וכן הצבת חלופות אסדרה אפשריות, יסייעו לקדם את פיתוח אנרגיית הרוח בישראל. שאלות כמו כמה טורבינות כדאי להקים, ומהו המיקום המיטבי מבחינת ההשפעה השלילית המזערית על התושבים, יוכלו לקבל מענה באמצעות הבדיקות המוצעות במאמר זה. מסקירת דרכי הפעולה הקיימות בעשרות מדינות בעולם עולה כי ארצות צפופות באירופה, דוגמת הולנד, דנמרק ובלגיה, משתמשות במנגנוני אסדרה המייצגים גישה של כל מקרה לגופו, שמאפשרת להתייחס לתרחיש האמיתי שעלול להיווצר בהיבטי רעש וריצוד. מנגד, מדינות רחבות שטחים, כמו אוסטרליה, ארה"ב ושוודיה, מעדיפות מרחקי ביטחון גדולים יותר מיישובים, וכך מרחיקות מהם את מרבית מטרדי הטורבינות. המסקנות מסקירת הספרות הן שבישראל נדרשת אסדרה גמישה שתאפשר לבחון כל מקרה לגופו, כפי שנהוג במדינות צפופות אחרות. התקנות למניעת רעש בישראל יכולות להתאים לגישה זו. באשר לריצוד, אין כיום הגדרה לסך שעות הריצוד המותרת על גבי מבנים. ניתן ללמוד ממדינות אחרות ולאמץ את התקנות הנהוגות בהן.

על קצה המזלג

- לצורך מימוש החלטת הממשלה על הרחבת השימוש באנרגיה ממקורות מתחדשים, מקודמים בשנים האחרונות מיזמים רבים להקמת חוות של טורבינות רוח בישראל.
- בארצנו הצפופה קשה להימנע מתכנון בסמיכות ליישובים, דבר המעלה חשש מפני פגיעה בבריאות הציבור, בייחוד בשל רעש וריצוד.
- בעולם קיימות מערכות אסדרה שונות, הנבדלות בעיקר במידת ההחמרה ביחס למרחקי הבטיחות הנדרשים מחוות הרוח.
- בהיעדר אסדרה ספציפית ביחס למיקומן ולפעילותן של חוות רוח בארץ, ישנם מאבקים רבים בין התושבים המתנגדים (בתמיכה של ארגוני שמירת סביבה) אל מול היזמים ורשויות המדינה.
- עד כה, כל צד מצדד באסדרה הנהוגה במדינות ה"נוחות" לו. התושבים שרוצים להרחיק את הטורבינות מיישוביהם, נתלים באסדרה של המדינות שהטווח בהן רחוק מאוד, והיזמים מצדדים בטווחי בטיחות קטנים יותר, המקובלים במדינות צפופות.
- המאמר מספק בסיס מוצק להמשך דיון מושכל, ולגיבוש המדיניות במשרדי הממשלה.

המערכת

על קצה המזלג

נעם הירש, מנהל תחום ארצי, תכנון ובנייה, משרד הבריאות:

המאמר עוסק באסדרת הצבתן של חוות של טורבינות רוח, ודבר זה כשלעצמו – קידום הפקת אנרגיה נקייה ממקורות מתחדשים ולא מדלקי מחצבים – הוא עיקרון שמשרד הבריאות תומך בו, כל עוד בריאות הציבור אינה נפגעת. כ- 25 תוכניות להקמת טורבינות רוח נידונות כיום במערכת התכנון, חלק מהן בוועדה לתשתיות לאומיות וחלק בוועדות המחוזיות. תוכניות אלה כפופות, בין השאר, לתסקיר השפעה על הסביבה. משרד הבריאות והמשרד להגנת הסביבה פרסמו נייר עמדה בנושא הקמת טורבינות רוח סמוך לריכוזי אוכלוסייה. נייר העמדה מסתמך, בין השאר, על עבודת המחקר שנעשתה בנושא במשרד הבריאות, אך בשל היעדר תוקף חוקי מחייב, הוא נותר בגדר המלצה בלבד. לפיכך, יש לבחון את הצורך בקידום חקיקה מסודרת בעניין.

מבוא

ככל שמתרחב השימוש באנרגיית שמש בעולם, בולטת יותר הבעייתיות שלה כמקור יחיד לאנרגיה מתחדשת, עקב מגבלות הקיימות מבחינת אגירה^[27]. לפיכך, חשיבותו של תמהיל מיטבי של מקורות אנרגיה מתחדשים, לרבות טורבינות רוח, גוברת.

עם זאת, נושא מרחק הביטחון הנדרש מטורבינות רוח גורם לחשש כבד בקרב הציבור, ומעסיק את מתכנני המדיניות לקראת הקמת טורבינות רוח במקומות שונים בארץ. כיום קיימים בוועדות התכנון עשרות מיזמים לחוות רוח. לכן מנסים מקבלי ההחלטות לגבש מדיניות הולמת מבלי לגרום להשפעות שליליות על הציבור המתגורר בסמוך לטורבינות. במאמר אנו מתעמקים במהות הבעיות הנוצרות משימוש בטורבינות רוח בקרבת התושבים, ומציעים חלופות שונות להתמודדות ראויה.

בקביעת מיקום מיטבי של טורבינות רוח מעורבים שיקולים כלכליים וחברתיים מגוונים. מרחק הביטחון הנדרש מיישבים מאוכלסים יכול להיות שיקול סובייקטיבי המדגיש היבטים של נוף והשתלבות בסביבה הטבעית. עם זאת, ישנן תופעות מסוימות הניתנות למדידה, שעשויות להשפיע ישירות על התושבים. רעש וריצוד הם הפרמטרים המדידים העיקריים בקביעת מרחקי הביטחון. תופעות אלה הן בין הסיבות לחששות תושבים מהקמת חוות רוח בקרבת מקום מגוריהם.

במאמר מסוכמים עיקרי הידע המדעי הקיים על אודות היווצרות הרעש והריצוד, עוצמתם והשפעתם על בריאות האדם. כמו כן, נסקרות דרכי התמודדות למדיניות באשר לחסמים אלה. לבסוף, ישנה התייחסות למאפיינים הקיימים במדינת ישראל, והמלצות למדיניות הנדרשת לקידום אנרגיות מתחדשות.



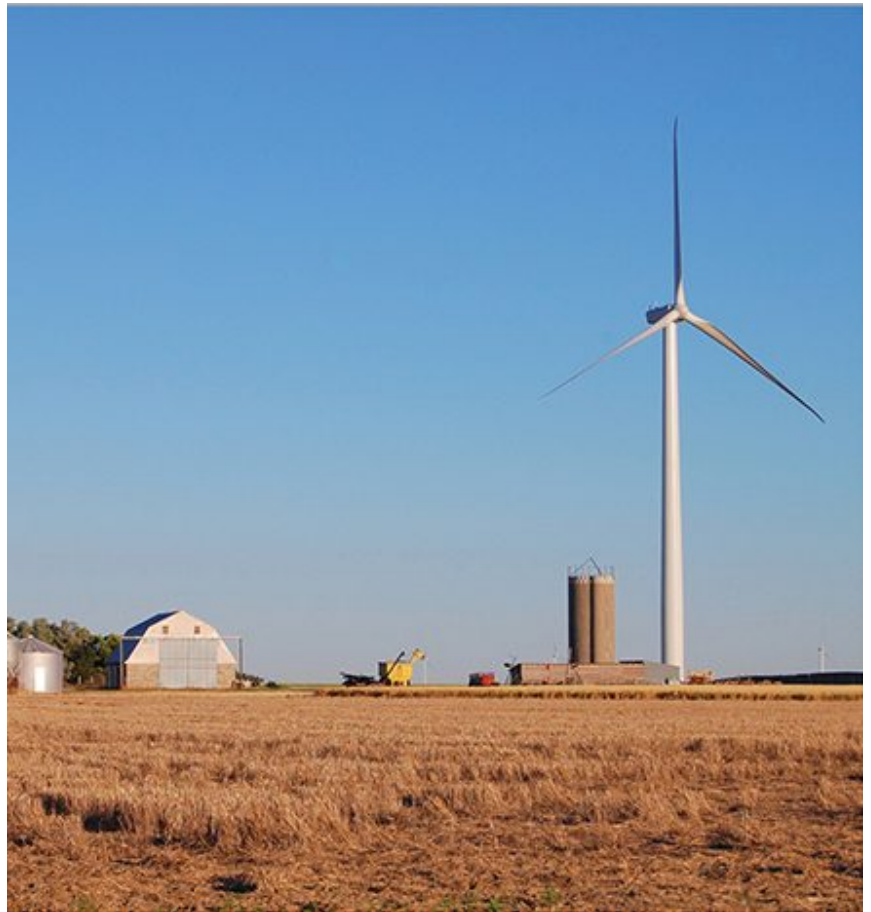
האם הקמת טורבינות רוח סמוך ליישובים עלולה לגרום בעיות בריאותיות? | צילום: Idaho National Laboratory, Flickr, CC BY 2.0

רעש מטורבינות רוח – גורמים והשפעות

רעש הוא צליל המופק ממקור מסוים על-ידי גלי קול. תנודת גל הקול מאופיינת בתדירות (הנמדדת בהרץ – Hz) ובעוצמה (הנמדדת בדציבל – dB). מקור הרעש הדומיננטי בטורבינות רוח הוא החיתוך האווירודינמי שנוצר מהאינטראקציה בין הלהבים לאוויר^[10].^[25] הרעש נע בתדירויות שונות. רובן נשמעות לאוזן אנושית, וחלק קטן מהן נמצא בתדרים שמתחת לסף שמיעת האוזן האנושית^[13,10]. התפזרות הרעש במרחב מושפעת משישה גורמים עיקריים: מרחק ממקור הרעש; כמות הטורבינות הפועלות בזמן נתון; תדירות הרעש; כיוון הרוח ועוצמתה, גורמים גיאוגרפיים ומזג אוויר; רעשי רקע^[8,6].

בעולם אין כיום קונצנזוס בדבר סף הרעש של טורבינות שמשפיע על בני האדם. הסוכנות האמריקנית להגנת הסביבה (EPA) ממליצה להגביל חשיפה לרעש בעוצמה של 45 דציבל בלילה כדי למנוע סכנות בריאותיות עתידיות^[30]. ארגון הבריאות העולמי ממליץ להגביל חשיפה לרעש בעוצמה של 40 דציבל (כמחצית מה-EPA), היות שדציבל היא סקלה לוגריתמית) כממוצע שנתי בלילה מחוץ לחדר מגורים, לטובת שינה איכותית. בפועל, על פי נתוני האיחוד האירופי, יותר מ-30% מהאוכלוסייה חשופים בלילה לרעש גבוה מ-55 דציבל^[31]. טורבינות רוח גדולות יוצרות רעש ממוצע של 35–40 דציבל במרחק של מאות מטרים ממקור הרעש^[10].

רעש בתחום תדרי השמע האנושי (20–20,000 הרץ) עלול להיות מטריד עבור התושבים המתגוררים סמוך לטורבינות, והוא יורגש יותר באזורים שקטים בשעות הלילה^[26,1]. שאלוני תושבים בהולנד ובשוודיה הראו שטורבינות רוח היו מטריד מבחינת מחצית מהתושבים בעוצמה של מעל 45 דציבל^[23,22]. רעש כמטרד (nuisance) הוא תופעה שכיחה, שמצוינת בספרות בהקשר לטורבינות רוח. המטרד עלול לגרום להפרעה בשגרת חיי התושבים. ברמה הבריאותית המטרד יכול להשפיע על איכות שינת התושבים^[26,20].



טורבינה ליד אסם בשטח חקלאי במדינת מיזורי שבארה"ב | צילום: Mark Putman, Flickr, CC BY 2.0

לעומת זאת, ישנם מחקרים שאינם מקשרים בין המטרד להשפעות פיזיקליות אובייקטיביות שהרעש יוצר, אלא לגורמים פסיכולוגיים וכלכליים. בקנדה נבדקו התושבים במעבדת שינה, ולא נמצא כי הקרבה לטורבינות משפיעה על איכות השינה (טווח הרעש שנבדק היה 46 דציבל) [18]. האינטרס הכלכלי הקשור לטורבינות הוכח כגורם המפחית את הרגישות לרעש מטורבינות. כלומר, בקהילות שבהן התושבים שולבו כשותפים עסקיים למיזמי אנרגיית רוח, ירד מספר התלונות בדבר מטרדי רעש באופן מובהק [23,22]. מבחינה פסיכולוגית, נראות הטורבינות בעין ממבנים והמודעות לקיומן הטורבינות מסתמנות כגורמים המשפיעים על רמת המטרד [22,20,14]. ניתן לשייך השפעה זו לתופעה הפסיכולוגית nocebo (כאשר פציינט מצפה שתוצאת טיפול תהיה שלילית, הדבר גורם לתוצאה השלילית שחשש ממנה, תופעה הפוכה לאפקט הפלסבו). אפקט זה קורה בגלל חשש התושבים מכך שלטורבינות יש השלכות בריאות שליליות, והתוצאה היא שאכן תושבים רבים יחלו רק מעצם החשש [9].

למרות תשומת הלב הגוברת, רעשי תת-קול (infrasound, תדירות של 1–20 הרץ) מטורבינות רוח טרם הוכחו כגורם מטריד או מסוכן באופן מובהק. העוצמות הנפלטות הן מתחת לסף הרעש המרבי המומלץ לבני האדם [29,19,17,13,7]. סיכום הגורמים וההשפעות בנושא רעש מטורבינות רוח מופיע בטבלה 1.

גורמים המשפיעים על כמות המטרד ורמתו	השפעות בריאותיות עיקריות (בסוגריים - רמת סבירות)	עוצמת רעש טורבינה גדולה במרחק מאוזן מטרים	עוצמת רעש מרבית (מומלצת לחשיפה במגורים בלילה)	סקלה דציבל dB	חדרים	רעש בחחום השמע אנושי
עוצמת רעש - אפקט nocebo** נראות בעין גורמים כלכליים	הפרעות שניה (נבוהה) - כאבי ראש (נמוכה) - סחרחורת וטנטוני (נמוכה)	40-35	45-35	A	20,000-20 הרץ	
---	---	65-55	85-75	G	20-1 הרץ	

יטונן: ציל מונוטוני שאדם שומע אך על פי שאין לו מקור חיצוני אמיתי. עלול לנרדם לחרדה ולכאבי ראש. ייאפקט nocebo: תופעה פסיכולוגית. קבלת תוצאה שלילית עקב הציפייה לתוצאה שלילית מלכתחילה.

טבלה 1 סיכום עוצמות הרעש מטורבינות, השפעות בריאותיות והגורמים המשפיעים על כך

רעש מטורבינות רוח – דרכי התמודדות

קיימות מערכות אסדרה מגוונות למניעת מטרד רעש של טורבינות. חלק מהמדינות משתמשות בתקנות הרעש הכלליות הקיימות למקורות רעש נוספים מלבד טורבינות, וחלק הכניסו תקנות חדשות ספציפיות לטורבינות רוח. בכל המדינות עובדים על פי יחידות דציבל בסקלה A (ולא לפי סקלה G הנהוגה לשימוש ברעשי תת-קול). עוצמת הרעש נעה בין 35 ל-55 דציבל בסקלה A. בקרב מדינות שונות קיימות מספר שיטות למדידת עוצמת הרעש. השיטה הרווחת לביצוען היא LAeq: רמת עוצמת הקול בדציבלים השווה לאנרגיה הקולית הכוללת שנמדדה בפרק זמן מוגדר [16].

מדינות מסוימות מפרידות בין רעשים בשעות מסוימות ביממה. ישנן גם מגבלות על רעש הטורבינה, האוסרות יצירת רעש העולה על חמישה דציבל מעבר לרעש הרקע באזור. בחלק מהארצות ישנה הפרדה בתקנים בין אזורים עירוניים לאזורים כפריים [10, 12, 16]. [20]. התייחסות לרעשי תת-קול איננה קיימת ברוב המדינות. בדנמרק קיימת התייחסות רק לרעשים נמוכי תדר (10-160 הרץ) והיא נמדדת בסקלה [16, 20] A.

הליך התכנון במדינות כגון דנמרק ושוודיה מתחיל בהקצאת שטחים מטעם המדינה למרכז עבור חוות רוח. יזמים המעוניינים לפתח אנרגיית רוח בשטחים שהוקצו מבצעים סקרים סביבתיים ומשתמשים בתוכנות מחשב ובמדידות בשטח. אם מעגלי התפזרות הרעש למבנים אינם עומדים בתנאי האסדרה, על היזם לשנות את מאפייני הטורבינה כדי להפחית את הרעש. במקרים כאלה ישתנה אופן תצורת הטורבינה, כך שבשעות שהרוח נושבת לכיוון המבנים, מהירות הלהבים מופחתת וכך גם הרעש. לתושבים ניתן זמן מוגדר לפני תחילת המיזם להציג את בקשותיהם מהיזם. לא קיימת השפעת רעש אחידה בקרב התושבים, וישנן אוכלוסיות בעלות רגישות בדרגות שונות גם במקרים שהרעש עומד בתנאי החוק (Niels-Erik Clausen, ריאיון אישי, 9 ביוני 2017; Sara Fogelstrom, ריאיון אישי, 15 ביוני 2017). כאמור, במקרים רבים התושבים מקבלים תמריץ כלכלי שמפחית באופן משמעותי את כמות התלונות נגד מטרדים. הדיאלוג בין התושבים ליזם ולמדינה הוכח כמשמעותי, ומוסיף לסיכוי להגיע להסדר שמקובל על כל בעלי העניין.

ריצוד מטורבינות רוח – גורמים והשפעות

ריצוד צללים נוצר כאשר להבי הטורבינה הנעים מטילים צל על אזור מסוים וכך נוצרת עוצמת אור המשתנה לסירוגין [1]. הגורמים העיקריים המשפיעים על היתכנות עוצמת הריצוד הם המרחק מהטורבינה, המיקום הגיאוגרפי, עונת השנה והזמן ביממה, מזג האוויר, טופוגרפיה ותנאי השטח ומאפייני הטורבינה [5]. בישראל תופעת הריצוד יכולה להתרחש בתנאים מישוריים בזוויות בין 45-112.5 מעלות או בזוויות בטווח 247.5-315 מעלות. הזווית היא בין קו השמש-טורבינה-מבנה לבין הצפון הגיאוגרפי. המרחק המרבי שהריצוד מוטל בו על מבנה בישראל בזוויות אלה הוא 500-1,750 מטרים. מחקרים מראים כי הריצוד מטורבינות איננו יוצר סכנה בריאותית משמעותית לבני האדם, אולם הן יכולות להיות מטרד לתושבים המתגוררים בקו ישיר עם הטורבינות



טורבינה בגלבו. רעש וריצוד הם הפרמטרים המדידים העיקריים בקביעת מרחק הביטחון הנדרש מיישובים מאוכלסים | צילום: אלכס סבנוק

ריצוד מטורבינות רוח – זרני התמודדות

מבחינה טכנולוגית, ניתן להפחית את כמות זמני הריצוד. ישנה אפשרות להרכיב חיישנים על גבי הטורבינה, שמסוגלים לעצור את סיבוב הלהבים בזמני הריצוד [13], אך הדרך היעילה ביותר להתמודד עם הריצוד היא דרך תכנון נכון. בעזרת תוכנות לתכנון חוות רוח, ניתן לחשב בצורה מדויקת את כמות הריצוד ואת זמני הריצוד לכל מבנה בסביבתה. אפשרות זו מסייעת לבחון חלופות לאסדרה שמטרתה למזער את התופעה.

אסדרה לריצוד מתמקדת לרוב בהגבלת משך זמן הריצוד שמותר לטורבינה ליצור. מדינות מתייחסות לסף שעות ריצוד שנתי ולסף דקות יומי. נהוג להבדיל בין שני תרחישים:

- התרחיש הגרוע ביותר: מתייחס למצב שהשמש תמיד מופיעה בשמיים בהירים והרוח נושבת בעוצמה כזו שלהבי הטורבינה מסתובבים.
- התרחיש האמיתי (Real Case Scenario): מתחשב בשכיחות הימים ללא שמש או ללא רוח, וסוכם את כמות הזמן שהריצוד פוגע בחלון המבנה.

על פי הקווים המנחים בגרמניה, בתרחיש הגרוע מותרות עד 30 שעות בשנה ועד 30 דקות ליום בודד [16], ומדינות רבות אימצו אותם. במדינות קטנות וצפופות (כמו הולנד, בלגיה, אנגליה ודנמרק) קיימת התייחסות לתרחיש האמיתי. מדינות אלה נדרשות

במקרים רבים למקם טורבינות רוח סמוך ליישובים, ולכן עליהן לאזן בין המטרד שעלול להיווצר לתושבים מול הרצון לנצל את האנרגיה הפוטנציאלית בכל אתר. יש גם מדינות שבחרו להתייחס רק למבנים המשמשים למגורים^[16].

בפועל, תופעת הריצוד מקבלת מעמד שולי באסדרה ביחס לרעש מטורבינות. במקרים מסוימים לא קיים הסדר נורמטיבי בדבר ריצוד, שכן מרחקי הביטחון לרעש וגורמים אחרים ממזערים את התופעה והיא אינה מגיעה לערכים המצוינים באסדרה. במדינות מסוימות, דוגמת ספרד או אזורים מסוימים בארה"ב, זמני הריצוד נמוכים משמעותית מצפון אירופה מסיבות אסטרונומיות, ולכן חשיבות הפרמטר פחותה^[5].



חוות טורבינות רוח, 3 ק"מ מפאתי העיר הליפקס שבצפון בריטניה | צילום: טים גרין, פליקר, CC BY 2.0

קביעת מרחק ביטחון

מרחק ביטחון ממבנים (setback distance) אינו מתייחס רק לרעש ולריצוד, אלא יכול להיקבע על סמך גורמים אחרים, כמו בטיחות משריפות, נראות לעין ממבנים בקרבת הטורבינות, הימנעות מפגיעה בתוואי הנוף הקיים^[16] והסיכון לנפילה ולפגיעה בכבישים או במבנים. מרחק הביטחון משתנה ממדינה למדינה, ומכיל בתוכו את הסיכונים

שעלולים להיווצר לתושבים מהקמת טורבינות סמוך למבנים. שיטה מתקדמת של קביעת מרחק נהוגה בדנמרק ובמחוז פלנדריה בבלגיה, שם המרחק נקבע לפי מכפלת של גובה הטורבינה בארבע ובשלוש בהתאמה. כך שככל שהטורבינה גדולה יותר, נדרש מרחק גדול יותר ממבנים. שיטה זו יעילה גם מול התפתחויות טכנולוגיות עתידיות, היות שממדי הטורבינות הולכים וגדלים עם השנים [12,10].

ניתוח דוגמאות מהעולם

במסגרת סקירת הספרות, נבחנה האסדרה במדינות רבות מרחבי העולם. **טבלה 2** ממחישה את השוני בין מדינות מובילות בארגון לשיתוף פעולה ולפיתוח כלכליים (OECD). מהטבלה ניתן לראות רמות החמרה שונות על בסיס הגודל הגיאוגרפי והצפיפות במדינה: במדינות קטנות וצפופות, דוגמת בלגיה, הולנד ודנמרק, קיימת **אסדרה גמישה**. אסדרה גמישה מעניקה למערכת התכנון גמישות, ומאפשרת גישה של 'כל מקרה לגופו'. היא בעלת מגננון מרובה תנאים בסוגיית הרעש, המתייחס לרעשי רקע, לשעת היממה, לעונת השנה, לעוצמות הרוח ולסוג המבנה או האזור.

טבלה 2. סיכום דרכי התמודדות במדינות שונות וחסימי הרעש והריצוד

מדינה	מרחק ביטחון ממבנים	עוצמת רעש (dB(A))	ערכי מגבלת ריצוד
אוסטרליה	משתנה בין מחוזות. במערב אוסטרליה המרחק מניע לקילומטר אחד	45-35 - קיימת התייחסות במספר מחוזות לרעשים מעל חמישה דציבל מרעשי הרקע	התרחיש הרעוע ביותר: - עד 30 שעות בשנה תרחיש אמיתי: - עד 10 שעות בשנה (בתנאי שהתרחיש הרעוע ביותר הוא מעל 30 שעות בשנה)
ארה"ב	תלוי מדינה	55 - קיימות החמרות במדינות מסוימות עד 45 דציבל או לחילופין 5 דציבל מעל רעשי הרקע	התרחיש הרעוע ביותר: - עד 30 שעות בשנה - עד 30 דקות ביום
בלגיה (ולונדיה)	- גובה טורבינה כפול ארבע - באזורים מבודדים 400 מטר	55 ביום 43 בלילה - החמרה ל-40 בלילה בקיץ, רק באזורים מיושבים	התרחיש הרעוע ביותר: - עד 30 שעות בשנה - עד 30 דקות ביום מעמד של חוק
בלגיה (פלנדריה) - אסדרה גמישה	גובה הטורבינה כפול שלוש, רק במקרה ששעומת הרעש נמוכה מרעשי הרקע	44 ביום 39 בלילה - הפחתה של 4 דציבל באזורים מבודדים	תרחיש אמיתי במבני מגורים: - עד 8 שעות בשנה - עד 30 דקות ביום תרחיש אמיתי באזורי תעשייה: - עד 30 שעות בשנה - עד 30 דקות ביום מעמד של חוק
גרמניה	- תלוי מחוז - במחוז בוואריה המרחק הוא פי עשרה מגובה הטורבינה	45-70 ביום 35-70 בלילה - השינוי תלוי אזור. באזור תעשייתי מותר רעש של 70 ביום ובלילה. באזור התשמש רק למגורים בלילה מותר 35 ביום ו-50 בבתי חולים מותר 35 בלילה ו-40 ביום.	התרחיש הרעוע ביותר: - עד 30 שעות בשנה - עד 30 דקות ביום תרחיש אמיתי: - עד 8 שעות בשנה
דנמרק - אסדרה גמישה	גובה טורבינה כפול ארבע	44 בעוצמת רוח של 8 מטר בשנייה 42 בעוצמת רוח של 6 מטר בשנייה - החמרה של חמישה דציבל באזורים מבודדים - התייחסות לרעש נמוך תדר (20 דציבל)	תרחיש אמיתי: - עד 10 שעות בשנה
הולנד - אסדרה גמישה	---	47 ביום 41 בלילה - לפי שיטת מדידה Lden המבדילה בין יום ללילה	תרחיש אמיתי: - עד 17 ימים עם מעל 20 דקות ריצוד בשנה. מעמד של חוק
שוודיה	---	40 35 במבנים מבודדים	התרחיש הרעוע ביותר: - עד 30 שעות בשנה - עד 30 דקות ביום תרחיש אמיתי: - עד 8 שעות בשנה

טבלה 2 סיכום דרכי התמודדות במדינות שונות וחסימי הרעש והריצוד

בסוגיית הריצוד, אסדרה גמישה תיקבע לפי התרחיש האמיתי. מדינות קטנות וצפופות נדרשות למקם טורבינות רוח במקרים רבים סמוך ליישובים, ולכן עליהן לאזן בין המטרד שעלול להיווצר לתושבים מול הרצון לנצל את האנרגיה הפוטנציאלית בכל אתר. ניתן לראות שבמדינות אלה שיטות האסדרה מגוונות יותר, והן אינן נוטות להחמיר במרחק ביטחון גדול במטרים.

לעומתן קיימת **אסדרה פשוטה**, שספף הרעש המותר בה הוא ברור וחד מבלי להתייחס למספר רב של גורמים ומשתנים. מדינות בעלות צפיפות אוכלוסייה נמוכה יבחרו לרוב באסדרה פשוטה היות שיש בהן מבחר גדול של מיקומים פוטנציאליים להקמת טורבינות, וקל יותר להימנע מהקמת מיזמים בקרבת מבנים. דוגמאות לאסדרה זו יש בצפון אמריקה, באוסטרליה ובשוודיה.

בישראל אין כיום אסדרה ייחודית לרעשי טורבינות רוח ולריצוד. לקראת תוכניות פיתוח שמקדם משרד האנרגיה ביחד עם מנהל התכנון, מתקיימים כיום דיונים עם נציגים ממשד הבריאות והמשרד להגנת הסביבה, במטרה לחבר אסדרה מתאימה לרעשי טורבינות רוח על פי מאפייני השטח בישראל והאסדרה הקיימת בעולם. הפתרון שהציעו משרדי הממשלה הוא קביעת מרחק ביטחון ממבנים והוספת תקנה מחמירה לרעשי תת-קול של 75 דציבל בסקלה [2] L_G: החוק שמופעל כלפי הרעשים הנשמעים לאוזן האנושית הוא החוק למניעת מפגעים – 1961. מכוח החוק הותקנו התקנות למניעת רעש ב-1990. התקנות מתייחסות לכלל גורמי הרעש, ואינן ממוקדות לרעשי טורבינות רוח. בחוק יש התייחסות לסוגי מבנים שונים, התייחסות לרעשי רקע והפרדה בין שעות היום ושעות הלילה. היות שרעשי הטורבינה הם רעשים קבועים, ניתן להבין מהחוק שעוצמת הרעש לא יכולה לעבור את רף ה-50 דציבל בסקלה A ביום ואת רף ה-40 דציבל בלילה במבני מגורים. המדידה בישראל מתבצעת בתוך המבנה עם חלונות פתוחים ודלת סגורה, דבר המפחית את רמת הרעש הנמדד [4].

באשר לאסדרת מטרד הריצוד, אין בינתיים הנחיות או תקנות. על פי תוכנית המתאר הארצית לטורבינות רוח (תמ"א 1/ד/10) [3], על היזם להציג כחלק מתסקיר השפעה סביבתי שאין הצללות משמעותיות על מבנים, אולם אין ערך נקוב המגדיר היקף מרבי. יש להניח שתופעת הריצוד בישראל היא בהיקפים נמוכים יותר ממדינות אירופה בגלל המיקום הגיאוגרפי, אך עדיין יש מקום לשלב שיקול זה בהליך תכנון טורבינות – על אחת כמה וכמה לאור היכולת לחזות את זמני הריצוד בדיוק רב.

המלצות לאסדרה בישראל

ישראל היא מדינה צפופה, בעלת חסמים רבים לטורבינות רוח כמו פוטנציאל הפגיעה בבעלי כנף ומגבלות ביטחוניות, לכן עליה לנקוט אסדרה גמישה. התקנות הקיימות בישראל במסגרת החוק למניעת מפגעים, יכולות להתאים גם לאסדרת רעשים מטורבינות רוח, שכן הן גמישות במהותן. התקנות הקיימות נמצאות במקום סביר בסקלה העולמית לחוקים לרעשי טורבינות.

עם זאת, מומלץ לבחון הגנה נוספת לאזורים מבודדים ושקטים, אם הטורבינות נמצאות בקו ראייה ממבנים. טורבינות רוח יוצרות רעש שעלול להוות מטרד לציבור, בעיקר באזורים ללא רעשי רקע בשעות הלילה, ולהשפיע על התושבים המבחינים בטורבינה בעין מביתם. באשר לריצוד, ישראל צריכה לשקול אימוץ של האסדרה הגרמנית לגבי התרחיש הגרוע ביותר, שניתן לצפייה מראש כמעטפת הגנה ראשונית. בד בבד, כמעטפת משנית, יש להוסיף תקנות של תרחיש אמיתי לכל טורבינה ספציפית, כפי שנהוג במדינות קטנות וצפופות אחרות. נוסף על כך, קביעת מרחקי הביטחון על פי גובה הטורבינה כפי שנהוג בדנמרק ובבלגיה מסתמנת כמתאימה לתנאים במדינת ישראל. מצד אחד תהיה מעטפת הגנה ראשונית מפני מטרדים לציבור, שמאפשרת למתכננים לשלב גם שיקולים נופיים ואקולוגיים (ובמקרים מסוימים תספק הגנה מלאה מפני מטרדים). מצד שני, אסדרה שכזו מאפשרת גמישות של גודלי טורבינות שונים, ואיננה מגדירה טווחי ביטחון מחמירים ללא טעם מעשי.

עירוב הציבור הוא נושא קריטי נוסף שיש לתכנן ולהתייחס אליו בחקיקה, כפי שנהוג במדינות אחרות בעולם. ישנה חשיבות לדיון בין שלושת הגורמים (היזם, הציבור, הממשלה) בכל הליך התכנון. כדי למנוע מצב של אי-צדק סביבתי יש לוודא שהנפגעים מקינים הטורבינות בקרבם מפיקים רווח כלכלי מחוות הרוח. הניסיון בעולם מוכיח שכאשר הציבור מעורב במיזם תכנונית וכלכלית, כמות התלונות יורדת וכך גם תופעת nocebo-; מאחר שהחשש הפסיכולוגי פוחת כאשר ישנה דעה חיובית סביב הטורבינות. נקודה נוספת היא שראוי שיהיה גוף ממשלתי שיטפל בפניות הציבור בנושא לפני הקמת הטורבינות ואחריה, כך שגם אם קיים מקרה שעומד בתנאי האסדרה אך מפריע לציבור, לאזרח יהיה למי לפנות. רצוי שיהיה למדינה ארגון כלים לטיפול במקרים מגוונים כדי למנוע מצב שהיזם בעל ההון גובר על הציבור. כאשר המדינה מתווה מסגרת

תודות

תודה למשרד האנרגיה והמים על מתן מענק למחקר בנושא מדיניות ותכנון לאנרגיית רוח בישראל.

מקורות

1. אולנובסקי ח, ברוקוביץ' ע ומדר ד. 2016. השפעת טורבינות רוח על הבריאות והסביבה. SP Interface. החברה להגנת הטבע.
2. הדר א, וינברג ד וקרקיס א. 2016. השלכות בריאותיות של אינפראסאונד מטורבינות רוח. משרד הבריאות.
3. המועצה הארצית לתכנון ובנייה. 2014. תוכנית מתאר ארצית לטורבינות רוח – תמ"א 12/ד/10.
4. המשרד לאיכות הסביבה. 1990. תקנות למניעת מפגעים (רעש בלתי סביר). ק"ת 5288, התש"ן (23.8.1990).
5. המשרד להגנת הסביבה. 2013. ריצוד טורבינות רוח – סקירה רגולטורית השוואתית. Meidata.
6. Alberts DJ. 2006. Addressing wind turbine noise. Report from Lawrence Technological University.
7. Bolin K, Bluhm G, Eriksson G, and Nilsson ME. 2011. Infrasound and low frequency noise from wind turbines: Exposure and health effects. *Environmental Research Letters* 6(3): 035103.
8. Brüel and Kjær, Sound and Vibration Measurements A/S. 2000. Environmental noise. Naerung.
9. Crichton F, Dodd G, Schmid G, et al. 2014. Can expectations produce symptoms from infrasound associated with wind turbines? *Health Psychology* 33(4): 360.
10. Dai K, Bergot A, Liang C, et al. 2015. Environmental issues associated with wind energy – A review. *Renewable Energy* 75: 911-921.
11. Harding G, Harding P, and Wilkins A. 2008. Wind turbines, flicker, and photosensitive epilepsy: Characterizing the flashing that may precipitate seizures and optimizing guidelines to prevent them. *Epilepsia* 49(6): 1095-1098.
12. Haugen KM. 2011. International review of policies and recommendations for wind turbine setbacks from residences: Setbacks, noise, shadow flicker, and other concerns. Minnesota Department of Commerce: Energy Facility Permitting.

13. Henningsson M, Jönsson S, Ryberg JB, et al. 2013. The effects of wind power on human interests: A synthesis. Stockholm: Swedish Environmental Protection Agency.
14. Kageyama T, Yano T, Kuwano S, et al. 2016. Exposure-response relationship of wind turbine noise with self-reported symptoms of sleep and health problems: A nationwide socioacoustic survey in Japan. *Noise and Health* 18(81): 53.
15. Koppen E and Fowler K. 2015. International legislation for wind turbine noise. Proceedings of EuroNoise. 2015; 31 May–3 Jun; Maastricht.
16. Koppen E, Gunuru M, and Chester A. 2017. International legislation and regulations for wind turbine shadow flicker impact. 7th International Conference on Wind Turbine Noise; 2–5 May 2017; Rotterdam.
17. Laratro A, Arjomandi M, Kelso R, and Cazzolato B. 2014. A discussion of wind turbine interaction and stall contributions to wind farm noise. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 127: 1-10.
18. Michaud DS, Feder K, Keith SE, et al. 2016. Effects of wind turbine noise on self-reported and objective measures of sleep. *Sleep* 39(1): 97-109.
19. Møller H and Pedersen CS. 2011. Low-frequency noise from large wind turbines. *The Journal of the Acoustical Society of America* 129(6): 3727-3744.
20. Nieuwenhuizen E and Köhl M. 2015. Differences in noise regulations for wind turbines in four European countries. Proceedings of EuroNoise 2015; 31 May–3 Jun; Maastricht.
21. Onakpoya IJ, O’Sullivan J, Thompson MJ, and Heneghan CJ. 2015. The effect of wind turbine noise on sleep and quality of life: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Environment international* 82: 1-9.
22. Pedersen E and Persson Waye K. 2004. Perception and annoyance due to wind turbine noise – A dose-response relationship. *The Journal of the Acoustical Society of America* 116(6): 3460-3470.
23. Pedersen E, van den Berg F, Bakker R, and Bouma J. 2009. Response to noise from modern wind farms in The Netherlands. *The Journal of the Acoustical Society of America* 126(2): 634-643.
24. Pierpont N. 2010. Wind turbines and health – A rapid review of the evidence. National Health and Medical Research Council, Australian Government.
25. Punch J, James R, and Pabst D. 2010. Wind turbine noise: What audiologists should know. *Audiology Today* 22(4): 20-31.

26. Schmidt JH and Klokke M. 2014. Health effects related to wind turbine noise exposure: A systematic review. *PLoS One* 9(12): e114183.
 27. Sivaram V. 2018. Taming the sun: Innovations to harness solar energy and power the planet. Cambridge MA: MIT Press.
 28. Smedley AR, Webb AR, and Wilkins AJ. 2010. Potential of wind turbines to elicit seizures under various meteorological conditions. *Epilepsia* 51(7): 1146-1151.
 29. Turnbull C, Turner J, and Walsh D. 2012. Measurement and level of infrasound from wind farms and other sources. *Acoustics Australia* 40(1): 45-50.
 30. U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1974. Information on levels of environmental noise requisite to protect public health and welfare with an adequate margin of safety.
 31. World Health Organization: Regional office for Europe. Fact sheet 6: Reducing noise to promote health; Tuning down urban soundscapes to promote health and well being. Viewed 20 Nov 2017.
-