

אורנה רביב

המרכז לחקר משאבי טבע וסביבה,
אוניברסיטת חיפה

אופירה אילון

המרכז לחקר משאבי טבע וסביבה,
אוניברסיטת חיפה ומוסד שמואל
נאמן לחקר מדיניות לאומית,
הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל

רוסלנה-רחל פלטינק

המרכז לחקר משאבי טבע וסביבה,
אוניברסיטת חיפה והחוג לכלכלה,
המכללה האקדמית עמק יזרעאל

מאמר זה עבר שיפוט עמיתים

ציטוט מומלץ

רביב א, אילון א ופלטינק ר. 2015.
הערכה כלכלית-סביבתית של הפקת
אנרגיה באמצעות טורבינות רוח
בישראל. אקולוגיה וסביבה 6(3):
167–173.



מבין הטכנולוגיות להפקת חשמל, הפקתו מאנרגיית רוח נחשבת השנייה בכדאיותה (אחרי אנרגיה הידרואלקטרית)

הערכה כלכלית-סביבתית של הפקת אנרגיה באמצעות טורבינות רוח בישראל

גיליון סתיו 2015 / כרך 6(3) / דלקים חלופיים ואנרגיה 19 באוקטובר, 2015

[חזית המחקר](#)

על קצה המזלג

- על מחיר החשמל לכלול עלויות חיצוניות כדי לשקף את העלות האמיתית לחברה.
- האסדרה בתחום הפקת אנרגיית הרוח נמצאת בראשית דרכה בישראל, וניכר כי לצורך תהליך קבלת ההחלטות נדרש ידע רב באשר לתועלת הכלל-משקית הנובעת ממנה.
- במחקר נאמדה ההשפעה הכלכלית-סביבתית מהפקת החשמל מרוח, תוך התמקדות בהערכת ההשפעות החיצוניות ובהפנמתן כחלק מהעלות לחברה, והתחשבות במאפיינים הייחודיים של ישראל.
- נמצא כי עלות ההשפעות החיצוניות בהפקת חשמל מרוח (0.94 אג' לקוט"ש בממוצע) נמוכה משל הפקה מדלק מחצבים (7 אג' לקוט"ש לפחות). העלייה בתועלת לחברה היא 860-1,650 מיליון ₪ בשנה, בחוות שנבחנו.
- תוצאות המחקר מאפשרות את מדידת ערך ההשפעות החיצוניות כחלק מניתוח ההשפעה על הרווחה לחברה בהפקת חשמל ממקורות אנרגיה שונים. המדדים יסייעו לקבוע את כדאיות הפקת חשמל מרוח ואת הערך לחברה מהפקת אנרגיה בכל טכנולוגיה שהיא.

המערכת

תקציר

העלות בפועל של ייצור חשמל כוללת את עלויות הייצור הישירות ואת עלות ההשפעות החיצוניות (הסביבתיות). במחקר הערכנו את עלות הפקת החשמל מרוח תוך בחינת שבע חוות רוח שנמצאות בשלבי תכנון בישראל. כמו כן, נעשתה הערכה של התועלת מהפקת חשמל מרוח, בהתאם למתווה ועדת קנדל ובהשוואה להפקת חשמל מדלק מחצבים.

על פי התוצאות, עלות ההשפעות החיצוניות מהפקת חשמל מרוח בישראל היא 0.94 אג' לקוט"ש בממוצע, וערכה קטן משמעותית מעלות ההשפעות החיצוניות בהפקה מדלק מחצבים, שערכן בין 7 ל-10 אג' לקוט"ש, לפחות. כמו כן, נמצא כי העלייה בתועלת לחברה בישראל מהפקת 690 ג'יגה-ואט לשעה נוספים של חשמל באמצעות אנרגיית רוח בשנה, לאורך 20 שנות ייצור החשמל בחוות הרוח ובהינתן ההשפעות החיצוניות, נעה בין 860 ל-1,650 מיליון ₪. תועלת זו תגדל ככל שימוזערו העלויות החיצוניות לחברה בהפקת חשמל מרוח.

העלות החיצונית אינה קבועה בין האתרים השונים. המלצתנו היא לשקול כל אתר בנפרד ולהביא בחשבון את מכלול העלויות הישירות והחיצוניות לכל מתקן טרם הקמתו.

מבוא

האסדרה בתחום אנרגיית הרוח בישראל נמצאת בראשית דרכה. התועלת למשק מהפקת חשמל מאנרגיית רוח, קביעת התעריף שישולם עבורו, והעלויות הישירות והחיצוניות בתהליך הפקת החשמל מרוח הם חלק מהנושאים שהמאסדר והיזמים יצטרכו לתת עליהם את הדעת בטרם יהיה ניתן להפיק, ברמות משמעותיות, חשמל מרוח בישראל. לכן, הערכה כלכלית-סביבתית של הפקת חשמל מרוח בישראל, שמביאה בחשבון את המאפיינים הייחודיים של המדינה וכן את ההשפעות החיצוניות הכרוכות בתהליך הפקת החשמל – חיונית לצורך תהליך קבלת החלטות שקול ומבוסס.

הפקת חשמל מאנרגיית רוח היא סהטכנולוגיה השנייה הכדאית ביותר בעולם להפקת חשמל (אחרי אנרגיה הידרואלקטרית). לאחרונה היא נעשתה הטכנולוגיה המותקנת ביותר מבין הטכנולוגיות להפקת חשמל מאנרגיות מתחדשות, ובעקבות שיפורים טכנולוגיים ניתן להפיק חשמל מרוח גם בישראל.

מטרת המחקר היא לאמוד את השפעת הפקת החשמל מרוח על משק החשמל בישראל, תוך התמקדות בהערכת ההשפעות החיצוניות והפנמתן כחלק מהעלות לחברה.

הפקת חשמל בכל טכנולוגיה היא בעלת השפעות סביבתיות. עלות ההשפעות הללו תלויה באופן הפקת החשמל (טכנולוגיה), ברמת החשיבות של האתר שהמתקן להפקת החשמל מוקם בו, ובאסדרה הקיימת להפחתת ההשפעה הסביבתית. למשל, בהפקת חשמל מגז טבעי קיימת פליטת מזהמים לאוויר. עלות ההשפעה של פליטת המזהמים לאוויר תלויה במיקום תחנת הכוח (למשל הקרבה למקום יישוב או לשמורת טבע) ובמידת האכיפה של השימוש במסננים ובאמצעים אחרים להפחתת כמות הפליטות לאוויר.

גם בייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות קיימות השפעות סביבתיות. בשנים האחרונות גדל השימוש במדדים לכימות ההשפעות החיצוניות בהפקת חשמל. המטרה בשימוש במדדים אלה היא להעריך את עלות הסיכון לחברה כדי להימנע מפגיעה בערכים שחשובים לה. ערכים אלה כוללים את ההשפעה על בריאות האדם, הכנסתו, ביתו, התשתיות הנדרשות לקיום רווחתו ובטיחותו. כמו כן נמדדות ההשפעות על הגידול באוכלוסייה, על השכלתה, על צריכת התרבות ושעות הפנאי ועל היחסים החברתיים^[6].

מדדים אלה לא מתיימרים לכמת את ערכי החברה אלא להשוות בין תרחישים ולבדוק על סמך נתונים מהו התרחיש העדיף לחברה.

מחקר זה מציג מדדים לתחום הפקת החשמל מרוח, תוך השוואתם למדדים דומים בהפקת חשמל מדלק מחצבים. בעזרת מדדים אלה ניתן להחליט איזו מהטכנולוגיות להפקת חשמל כדאית יותר לחברה בישראל, ואיך ניתן לצמצם את ההשפעות החיצוניות בכל טכנולוגיה ולשפר את הכדאיות לחברה.

שיטות

המדדים ששימשו במחקר זה במטרה לכמת את העלות למשק ואת הכדאיות בייצור חשמל מרוח, אל מול התחליפים הקיימים, הם:

- עלות ותועלת ישירות – מתבססות על חישוב התעריף המיטבי (LCOE, Levelized Cost Of Energy), שהוא שיטה לחישוב עלות הפקת החשמל והשוואתה בין טכנולוגיות הפקה שונות^[15,16]. התעריף המיטבי כולל את עלויות ההקמה והתפעול של המתקנים להפקת חשמל, וכן את עלות הדלק (בעיקר פחם וגז). עבור חשמל מרוח עלות הדלק אפסית. התועלת הישירה מתבטאת בתשלום הצרכן על החשמל.
- עלות ותועלת חיצוניות – מתבססות על כימות ערך ההשפעות על הסביבה. חלק מההשפעות בעלות ערך שוק (כמו במקרה של השפעה על הכנסה או תשתיות) וחלק לא (כמו ערך הנוף החקלאי או הציפורים), ועדיין ניתן לכמת אותן בשיטות קיימות^[6].
- התעריף המיטבי המפנים עלויות חיצוניות הוא הערך המהווה הנקי של סכום העלויות והתועלת, הישירות והחיצוניות, לאורך תקופה, בהתחשב בשערי היוון שונים^[19,12].
- הרווחה לחברה (social welfare) מוגדרת כערך מהווה נקי (NPV, Net Present Value) של סוגי התועלת, פחות הערך המהווה הנקי של סכום העלויות הנובעות מהפקת חשמל מרוח לאורך 20 שנות הפעלת החווה^[20,16]. על סמך הערכת עלויות ההקמה, הייצור וההשפעות החיצוניות וניתוחן לצד התועלת והעלויות הנמנעות – מתבצע חישוב העלות מול התועלת.
- יחס תועלת לעלות – מדד לכדאיות ההשקעה במתקני הפקת חשמל בהתבסס על הערך המהווה הנקי של סוגי התועלת המחולק בערך המהווה הנקי של העלויות.

הערכת העלויות וסוגי התועלת מתבססת על איסוף נתונים רבים ממקורות שונים בארץ ובעולם וניתוחם בשיטות עדכניות לתחום תוך התאמתם למאפיינים המיוחדים לישראל.



להקת עגורים בעמק החולה. עלות ההשפעה על בעלי כנף מחושבת כמכפלת רמת הרגישות באתר ברמת הסיכון לבעלי כנף (לפי מספר הטורבינות) ובערכם כמשאב לחברה | צילום: אהובה כץ, מאתר פיקיוויקי (CC BY-2.5)

תוצאות

התועלת

התועלת לחברה מייצור חשמל מרוח מתבטאת מחד גיסא בתשלום הישיר של צרכני החשמל על השימוש בו, ומאידך גיסא בעלויות הנמנעות לחברה בהשוואה להפקת חשמל מדלק מחצבים (גז ופחם). העלויות הנמנעות הן בעיקר עלות הדלק ועלות זיהום האוויר המקומי (תחמוצות גפרית וחנקן וחלקיקים) והכלל-עולמי (גזי חממה). קיימים סוגים נוספים של תועלת בתרומה לגיוון מקורות האנרגיה והגיבוי המערכתי ^[20].

תעריף החשמל נכון לינואר 2015 הוא 40 א"ג לקוט"ש, והוא מתבסס על חישוב התעריף המיטבי בהתאם לתמהיל הדלק הנוכחי. להשוואת העלויות במחקר זה הופחתו עלויות נוספות הגלומות בתעריף, כמו ניהול מערכת, הולכה וחלוקה ועוד. זאת, גם מכיוון שחוות הרוח מתחברות ישירות לרשת ההולכה ומסתמכות על אספקת חשמל ליישובים סמוכים להן ^[1].

התועלת בהפקת חשמל מאנרגיה מתחדשת הוערכה בישראל עבור הפקת אנרגיה משמש ועל סמך צפי תמהיל הדלק להפקת חשמל בעשרים השנים הבאות, כפי שקבעה ועדת קנדל (2013). במחקר זה הושוו הערכות אלה לערכים מקבילים בהפקת אנרגיה מרוח (על פי שעות הפקת החשמל, מחיר החשמל בשעות ההפקה ועוד). נמצא כי ערך העלויות הנמנעות בהפקת חשמל מרוח זהה לעלויות הנמנעות בהפקת חשמל משמש או גבוה מהן, ונע בין 10.66–13.66 א"ג לקוט"ש, על פי המרכיבים הבאים:

- עלות הדלק היא כ-30 אג' בממוצע לקוט"ש. עלות זו נכללת כבר במחיר החשמל (התועלת) ולכן לא מובאת בחשבון שוב בסעיף העלות.
- עלות זיהום האוויר – ערך המינימום הוא 7 א"ג לקוט"ש וערך המקסימום הוא 10 אג' לקוט"ש. ההערכה מתבססת על כימות רמת התחלואה ועל העלייה במקרי התמותה בישראל עקב הזיהום. ההנחה של ועדת קנדל הייתה שרמת הזיהום תרד החל ב-2013 הודות להמרת טורבינות קיימות בטורבינות מבוססות גז, בעלות מחזור משולב ומסננים להפחתת פליטת המזהמים. עקב האטה בתהליך ההמרה והתקנת המסננים, הערכת ועדת קנדל לפליטת מזהמים עד שנת 2020 נמוכה מהצפוי, ולכן העלות לחברה בפועל גבוהה יותר מ-7 אג' לקוט"ש. עקב כך, ערך המקסימום הוא כ-10 אג' לקוט"ש. הערכות מקבילות בעולם עומדות על כ-15 אג' לקוט"ש ^[18].
- ערך התרומה לגיוון מקורות האנרגיה מסתכם בכ-3.66 אג' לקוט"ש, מתוכן 2.60 אג' לקוט"ש עבור ביטחון באספקת אנרגיה וגיבוי מערכתי, ו-1.06 אג' לקוט"ש עבור שימוש עצמי או מקומי בחשמל. החישוב מסתמך על צמצום הצורך בהחזקת מתקני ייצור והולכה-חלוקה נוספים לגיבוי, צמצום הוצאות הביטוח והפיצוי על הפסקות חשמל ועוד.



העלות למשק בהפקת חשמל באמצעות טורבינות רוח כוללת את עלויות ההקמה והתפעול הישירות ואת עלויות ההשפעות החיצוניות השליליות (צילום: CC BY-ND 2.0 | Evert Kuiken)

העלות

העלות למשק בהפקת חשמל באמצעות טורבינות רוח כוללת את עלויות ההקמה והתפעול הישירות ואת עלויות ההשפעות החיצוניות השליליות. במחקר התמקדנו בנתוני שבע חוות רוח (טבלה 1, וטבלה 2) שנמצאות בשלבי תכנון בישראל, ובהן טורבינות "גדולות" (מעל 50 מ' גובה, על-פי הגדרות תמ"א 12/ד/10, תכנית המתאר הארצית לטורבינות רוח).

עלויות ההקמה והתפעול של חוות הרוח חושבו במחקר זה בשני תרחישים. האחד על פי התעריף שהמדינה משלמת ליזם – 36 אג' לקוט"ש – המתבסס על נרמול עלויות הפקת החשמל על פי חוות ייחוס בת 20 טורבינות של 2.5 מגה-ואט כל אחת. והאחר, בחישוב ישיר של עלויות ההקמה והתפעול לכל חוות רוח שנסקרת במחקר זה (טבלה 1 וטבלה 2).

ההשפעות החיצוניות בהפקת חשמל מרוח לא כוללות השפעה בריאותית על האדם, כל עוד מיושמות הוראות האסדרה [7,8]. הוראות התמ"א לטורבינות רוח מתמקדות לכן בבחינת ההשפעה על הנוף ועל בעלי כנף, תוך יישום השיטה של "הימנעות-מזער-פיצוי". על פי שיטה זו, לא יותקנו טורבינות באתרים שההשפעה על הסביבה בהם גבוהה, ובמקומות שיוותקנו טורבינות תמוזער ההשפעה בהתאם להוראות המאסדר. אם עדיין תתקיים השפעה על הסביבה לאחר הקמת הטורבינות, יידרש פיצוי סביבתי בגובה הפגיעה, כמו למשל טיפוח של זן בסכנת הכחדה במיקום אחר [6,9,10].

הערך הממוצע של העלויות החיצוניות בהפקת חשמל מרוח הוערך במחקר זה בכ-0.94 אג' לקוט"ש. הוא מתבסס על סיכום העלויות החיצוניות בכל אתר (טבלה 1) ועל הנתונים הבאים:

א. עלות ההשפעה על הנוף החקלאי ועל המערכות אקולוגיות מחושבת כמכפלת רמת הרגישות באתר בערך המשאב האקולוגי והנוף החקלאי לחברה ובגודל השטח בסיכון, כלומר: עלות ההשפעה האקולוגית והנופית = רמת הרגישות (סיכון) באתר X עלות הסיכון לפי ערכי מקסימום ומינימום (₪ לשנה) X שטח החווה (לפי 10 דונם לכל טורבינה).

- רמת הרגישות האקולוגית והנופית של אתרי הטורבינות נדגמה על פי תסקירי השפעה על הסביבה שמממן היזם, ומפות רגישות של מכון דש"א [2]. חוות הרוח ממוקמות באזורים חקלאיים, שנחשבים רגישים פחות מבחינה אקולוגית ונופית בהשוואה לשטחים פתוחים מחד גיסא, ומאידך גיסא מאפשרים המשך שימוש בקרקע לחקלאות לצד הפקת החשמל מטורבינות הרוח. עם זאת, רוב האתרים ממוקמים לצד שמורות טבע ואתרים בעלי חשיבות נופית, והדבר משפיע על רמת הסיכון לנוף באתר.
- הסיכון לשטח המושפע מכל טורבינה בשלב הקמתה, מוערך בכ-10 דונם לטורבינה, וכולל בעיקר את דרכי הגישה לאתר, שמורחבות לצורך הובלת הטורבינות [13].
- ערך הנוף החקלאי כומת בעבר בישראל בשנת 2008 בכ-140 ₪ לדונם [14] וישמש כערך המינימום במחקר זה. ערכים עדכניים בעולם עומדים על כ-600 ₪ לדונם [11] וישמשו כערך המקסימום במחקר זה.

ב. עלות ההשפעה על בעלי כנף מחושבת כמכפלת רמת הרגישות באתר ברמת הסיכון לבעלי כנף (על פי מספר הטורבינות) ובערכם כמשאב לחברה, כלומר: עלות ההשפעה על בעלי כנף = רמת הרגישות באתר X עלות הסיכון מטורבינה לפי ערכי מקסימום ומינימום (₪ לשנה) X מספר הטורבינות באתר.

- רמת הרגישות של האתר משוקללת על פי מספר הזנים המקומיים בסכנת הכחדה (בעיקר דורסים) הקיימים באתר, ומספר נתיבי הנדידה שעוברים במקום [5].
- הסיכון לפגיעה בבעלי כנף על סמך נתונים מחוות רוח באזורים חקלאיים בעולם הוא ציפור אחת לטורבינה בשנה [17]. מאחר שישראל הוגדרה כאזור שימור ברמה העולמית, ערך המקסימום לפגיעה אפשרית עומד על כ-4 ציפורים לטורבינה בשנה. קיים גם סיכון לעטלפים, אך תסקירי העטלפים בשלוש מהחוות במחקר זה לא מצאו סיכון משמעותי לעטלפים, ולכן ערך ההשפעה עליהם לא נכלל במחקר זה.
- ערך בעלי הכנף כמשאב מוערך בכ-8,600 ₪, ומתבסס על העלות לשימור נשר נוסף בישראל [4].

טבלה 1. עלות ההשפעות החיצוניות בכל אתר

האתר בעל עלות ההשפעה החיצונית הגבוהה ביותר מסומן באדום

אתר	רגישות אקולוגית ונופית	רגישות בעלי חיים	עלות ההשפעה האקולוגית והנופית (נוף חקלאי) [מיליון ש"ש לשנה]	עלות ההשפעה על בעלי חיים [מיליון ש"ש לשנה]	סיכום עלות ההשפעה האקולוגית-נופית ועל בעלי חיים [מיליון ש"ש לשנה]	עלות ההשפעה הממוצעת באג"ל לקוט"ש
עמק הבכא	1.29	2.64	0.40	0.09	3.63	0.91
עסניה	1.57	1.56	0.49	0.11	0.43	0.11
סירין	1.00	2.82	0.14	0.03	1.07	0.27
מעלה גלבוע ומירב	1.00	3.00	0.11	0.03	1.96	0.49
עין השופט	1.17	0.94	0.08	0.02	0.36	0.09
חורפיש	2.00	1.24	0.04	0.01	0.13	0.03
ממוצע						

* עלות ההשפעה האקולוגית והנופית (נוף חקלאי) = רמת הרגישות באתר X עלות ההשפעה (סיכון) לפי ערכי מקסימום ומינימום (ש"ש לשנה) X שטח החווה (לפי 10 דונם לכל טורבינה)

** עלות ההשפעה על בעלי חיים = רמת הרגישות באתר X עלות ההשפעה (סיכון) לפי ערכי מקסימום ומינימום (בש"ש לשנה) X מספר הטורבינות באתר המרחק בין חוות הרוח בקיבוץ מירב לזו שבמעלה גלבוע הוא פחות מקילומטר, לכן ההשפעה הסביבתית שלהן נחשבת כמו של חווה אחת גדולה. עם זאת, מאחר שיש בהן טורבינות שונות, הן הופרדו בשאר החישובים.

*** בעת כתיבת המחקר לא נמצאו עדיין תסקירים עבור עין השופט וחורפיש, ולכן רמת הביטחון בערכים עבורם נמוכה יחסית לשאר החוות.

טבלה 1

עלות ההשפעות החיצוניות בכל אתר

האתר בעל עלות ההשפעה החיצונית הגבוהה ביותר מסומן באדום.

הרווחה לחברה

מדדי הרווחה לחברה בייצור חשמל מרוח חושבו על סמך ערכי העלות והתועלת שנותחו עד כה. לפי מדדים אלה קיים צפי לעלייה ברווחה לחברה (טבלה 2) עם הפקת הספק החשמל הנוסף מרוח בשבע החוות במחקר זה. זאת, בהנחה שהפקת החשמל מרוח תפחית את הצורך בהקמת מתקנים נוספים מבוססי דלק מחצבים, על פי הממצאים הבאים:

- התעריף המיטבי הוא 36 א"ג לקוט"ש לרוח מול 40 א"ג לקוט"ש לדלק מחצבים.
- עלות ההשפעות החיצוניות בהפקת חשמל מרוח היא 0.94 א"ג לקוט"ש בממוצע, וערכה קטן מההשפעות החיצוניות בהפקה מדלק מחצבים, שעלותו 7 א"ג לקוט"ש לפחות. חשוב לציין שהעלות החיצונית אינה קבועה בין האתרים המתוכננים.
- התעריף המיטבי המפנים עלויות חיצוניות בהפקת חשמל מרוח הוא לכן 37 א"ג לקוט"ש לפחות, והוא נמוך מהתעריף לדלק מחצבים שהוא 47 א"ג לקוט"ש לפחות.
- **העלייה בתועלת** (ערך מהווה נקי) לחברה מהפקת 690 ג'יגה-ואט לשעה **נוספים** של חשמל בשנה בשבע חוות הרוח, לאורך 20 שנה ובהינתן ההשפעות החיצוניות בחוות אלה, נע בין 860 ל-1,650 מיליון ש"ח (עבור שער ריבית של 10%-2). תועלת נקיה זו תגדל ככל שימוזערו העלויות החיצוניות לחברה בהפקת חשמל מרוח.
- יחס התועלת לעלות הגבוה ביותר (1.96) מתקבל בקיבוץ מירב שבגלבוע, למרות העלות החיצונית לסביבה (1.39) א"ג לקוט"ש) ובזכות ההספק הגבוה המופק בכל טורבינה.

בתרחיש השני לחישוב הרווחה לחברה הוערכו עלות הזיהום מדלק מחצבים בכ-10 א"ג לקוט"ש (לעומת 7 א"ג בתרחיש הראשון) והתעריף המיטבי הוערך לפי עלויות ההקמה והתפעול לכל אתר, ללא נרמול עלות ההקמה והתפעול לקוט"ש מראש. בתרחיש זה מתקבלת עלייה נוספת ביחס תועלת-עלות, כך שעבור עמק הבכא מתקבלים ערכים של 1.49-1.83 ובתל עסניה 1.11-1.56 (לעומת ערך של 1.38 שהתקבל לשני האתרים בתרחיש הראשון).

טבלה 2. הרווחה לחברה בייצור חשמל מרוח

חוסר רווח	הספק מופק ממוצע ¹ (ג'יגה-ואט לשעה בשנה)	מספר טורבינות	חעריף מיטבי LCOE עם הפנמת עלות חיצונית [ש לקוט"ש]	ערך נקי מהוון עבור שער היוון משתנה (NPV) לפי עלות זיהום אוויר של 0.07 ש לקוט"ש [מיליון ש עבור 20 שנה]					יחס חוועלת לעלות
				2%	4%	6%	8%	10%	
עמק הבכא	400	40	0.366	478	551	644	763	918	1.38
עסניה	68	8	0.368	80	92	108	128	154	1.38
סירין	38	11	0.380	41	47	55	65	79	1.33
מעלה גלבוע	56	14	0.374	63	72	85	100	121	1.35
מירב	38	5	0.374	79	91	107	126	152	1.96
עין השופט	72	11	0.364	87	100	117	139	167	1.39
חורפיש	26	3	0.364	31	36	42	49	59	1.39
ממוצע חוות רוח	99.4	13.1	0.37	123	141	165	196	236	1.46
סיכום כל החוות	696	92	-	859	990	1,157	1,371	1,649	-

* חישוב ההספק על פי נתוני חוות הרוח כפי שהופקדו במנהל התכנון ואושרו ברשות החשמל, ולפי צפי ההפקה בהתאם למפות השירות המטאורולוגי.

טבלה 2 הרווחה לחברה בייצור חשמל מרוח

דיון

תוצאות המחקר מאפשרות את מדידת ערך ההשפעות החיצוניות כחלק מניתוח ההשפעה על הרווחה לחברה בהפקת חשמל ממקורות אנרגיה שונים. בעזרת מדדים אלה ניתן יהיה לקבוע אם כדאי לחברה לכלול הפקת חשמל מרוח, ומה ערך הפקת האנרגיה בכל טכנולוגיה לחברה, שכן חשוב שמחיר החשמל בישראל יכלול עלויות חיצוניות כדי לשקף את העלות האמתית לחברה. עלות זו תקטן ככל שיופחתו העלויות החיצוניות, בין היתר על-ידי מעבר לאנרגיה מתחדשת וצמצום ההוצאות לטיפול בזיהום הנובע מהפקת חשמל מדלק מחצבים.

המלצתנו היא לשקול כל אתר וכל טכנולוגיה בנפרד ולהביא בחשבון את מכלול העלויות הישירות והחיצוניות לכל חווה ומתקן טרם הקמתם. אנו ממליצים לקבוע ערכים עדכניים ומקומיים של ההשפעות החיצוניות מכל מתקן בישראל, שיאפשרו ניתוח והשוואה יעילה בין עלויות הפקת החשמל במתקנים השונים.

השינוי בתמהיל הטכנולוגיות להפקת חשמל חל כבר בארצות רבות בעולם ומתחיל כעת גם בישראל. תכנון נכון של משק החשמל בעזרת ארגז כלים לקבלת החלטות, הכולל הערכות מעודכנות של התועלת והעלויות, הישירות והחיצוניות, יאפשר את הובלת השינוי בתמהיל בצורה שתביא לעלייה ברווחה לחברה.



במחקר זה ערך בעלי הכנף כמשאב טבע הוערך בכ-8,600 ש"ח, על בסיס העלות לשימור נשר נוסף בישראל / צילום: דורון ניסים

מקורות

1. חברת חשמל לישראל. [תעריפי החשמל האחידים לאספקה במתח נמוך – בתוקף מ-1.2.15 ואילך](#).
2. מכון דש"א. [אינדקס הסקרים](#).
3. רשות החשמל – הרשות לשירותים ציבוריים. [לוח 1-3.5: תעריפים אחידים – אגורות לקוט"ש](#).
4. Becker N, Chores Y, Bahat O, and Inbar M. 2009. Economic analysis of feeding stations as a means to preserve an endangered species: The case of Griffon Vulture (*Gyps fulvus*) in Israel. *Journal for Nature Conservation* **17**: 199–211.
5. BirdLife International. Soaring bird sensitivity mapping tool. maps.birdlife.org/MSBtool.
6. Busch M, La Notteb A, Laportec V, and Erhardc M. 2012. Potentials of quantitative and qualitative approaches to assessing ecosystem services. *Ecological Indicators* **21**: 89–103.
7. Chapman S, St. George A, Waller K, and Cakic V. 2013. [Spatio-temporal differences in the history of health and noise complaints about Australian wind farms: Evidence for the psychogenic, "communicated disease" hypothesis](#). The University of Sydney.
8. Chatham-Kent Public Health Unit. 2008. [The Health impact of wind turbines: A Review of the current white, grey, and published literature](#). Chatham-Kent Public Health Unit

- (Canada).
9. Cole S. 2010. [How much is enough? Determining adequate levels of environmental compensation for wind power impacts using equivalency analysis: An illustrative and hypothetical case study of sea eagle impacts at the Smola wind farm, Norway.](#) Epsilon open archive publishing, Swedish Agricultural University.
 10. Cole SG. 2011. Wind power compensation is not for the birds: An opinion from an environmental economist. *Restoration Ecology* **19**(2): 147–153.
 11. Costanza R, de Groot R, Sutton P, et al. 2014. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change* **26**: 152–158.
 12. Couture T and, Gagnon Y. 2010. An analysis of feed-in tariff remuneration models: Implications for renewable energy investment. *Energy Policy* **38**: 955–965.
 13. Denholm P, Hand m, Jackson M, and Ong S. 2009. [Land-use requirements of modern wind power plants in the United States.](#) NREL (National Renewable Energy Laboratory). Technical Report NREL/TP-6A2-45834.
 14. Fleischer A and Tsur Y. 2009. The Amenity value of agricultural landscape and rural–urban land allocation. *Journal of Agricultural Economics* **60**(1): 132–153
 15. Gass V, Schmidt J, Strauss F, and Schmid E. 2013. Assessing the economic wind power potential in Austria. *Energy Policy* **53**: 323–330.
 16. Levitt AC, Kempton W, Smith AP, et al. 2011. Pricing offshore wind power. *Energy Policy* **39**: 6408–6421.
 17. Loss S, Will T, and Marra P. 2013. Estimates of bird collision mortality at wind facilities in the contiguous United States. *Biological Conservation* **168**: 201–209.
 18. McCubbin D and Sovacool B. 2013. Quantifying the health and environmental benefits of wind power to natural gas. *Energy Policy* **53**: 429–441.
 19. Schmalensee R. 2011. Evaluating policies to increase electricity generation from renewable energy. *Review of Environmental Economics and Policy* **6.1**: 45–64.
 20. Welch JB and Venkateswaran A. 2009. The dual sustainability of wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **13**: 1121–1126.