



Community
Power



טכנולוגיות אנרגיית רוח

יום עיון

מרכז מדע ים המלח והערבה

גדי הראלי



Click for
[Video](#)



14th World Wind Energy
Conference & Exhibition

Innovation for 100% Renewable Energy
In Harmony with the Environment

October 26-28, 2015 – Jerusalem, Israel





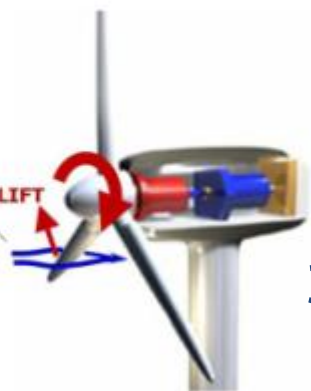
- ✓ בעלים אנטר-טק טכנולוגיות, יו"ר WINGO Ltd
- ✓ פיתוח טכנולוגיות אנרגיית רוח, זכייה ב- Eureka and Eurogia labels
- ✓ ייעוץ בתחום אנרגיית רוח
- ✓ יו"ר האגודה הישראלית לאנרגיית רוח
- ✓ סגן נשיא האיגוד העולמי לאנרגיית רוח
- ✓ יו"ר הכנס העולמי לאנרגיית רוח WWEC2015 בישראל
- ✓ השתתפות בועדות תקינה לאומיות ובינלאומיות כמו IEC
- ✓ TC88, מייצג ישראל ב- International Energy Agency-IEA
- ✓ Wind, צוות בינמשרדי לחוות רוח, תמ"א 12/ד/10
- ✓ פיתוח מתקני אנרגיית רוח
- ✓ מרצה בפורומים בינלאומיים



אנרגיית רוח

- אנרגיה (מגה-וואט שעה) = הספק (וואט/קילו-וואט/מגה-וואט) X זמן (שעה)
- משפחה ממוצעת בישראל צורכת כ- 7,000 קוט"ש בשנה
- מכונה המייצרת 1 קילוואט יכולה לספק צרכי החשמל של משפחה
- בעולם למעלה מ 500,000 מגה-וואט במתקני אנרגיית רוח
- מדינות כמו דנמרק, גרמניה ואחרות מספקות ומתכננות להגיע לאספקת עשרות אחוזים מצריכת האנרגיה שלהן מאנרגיית רוח
- הטכנולוגיה היחידה לייצור אנרגיה שאינה זקוקה למים
- שטח קרקעי מינימלי ליחידת אנרגיה -תורן של מספר מ"ר שווה ערך ל- 30 דונם של PV

אנרגיית רוח



– מהירות הרוח הינה פרמטר עיקרי ליכולת הפקת אנרגיית רוח

$$P = \frac{1}{2} * \rho * C_p * A * V^3 \text{ [Watt]}$$

where :

ρ = צפיפות האוויר

$C_p = 0.593 < \text{מקדם הספק}$

$A = \text{שטח פנים [m}^2 \text{]}$

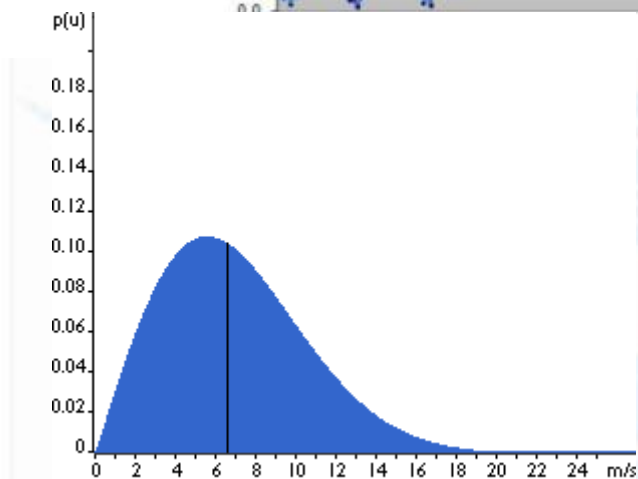
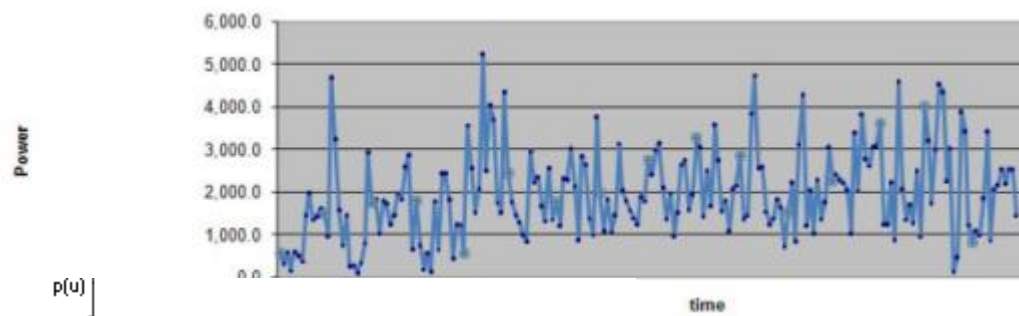
$V = \text{מהירות הרוח [m / s]}$



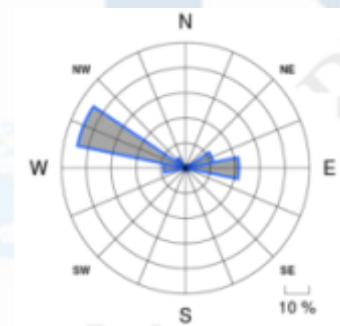
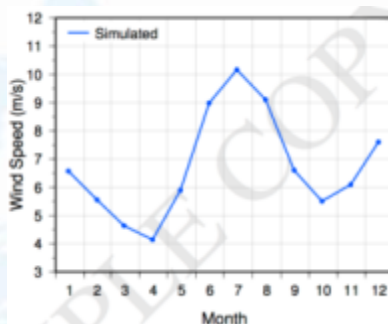
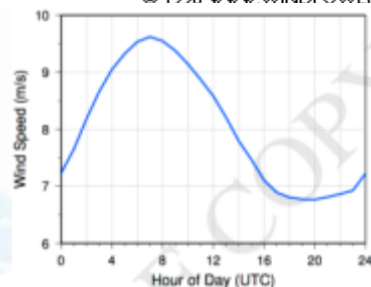
– הכפלת מהירות הרוח תגדיל תפוקת האנרגיה פי 8 !
– הכפלת קוטר הלהבים תייצר פי 4 אנרגיה

התנהגות הרוח

- שינוי רגעי גבוה
- יכולת חיזוי סטטיסטי
- התפלגות WEIBULL
- מחזוריות יומית, עונתית ושנתית



© 1998 www.WINDPOWER.org



מדוע מעדיפים טורבינות גבוהות

– מהירות הרוח עולה ככל שעולים בגובה

$$v/v_o = (h/h_o)^\alpha$$

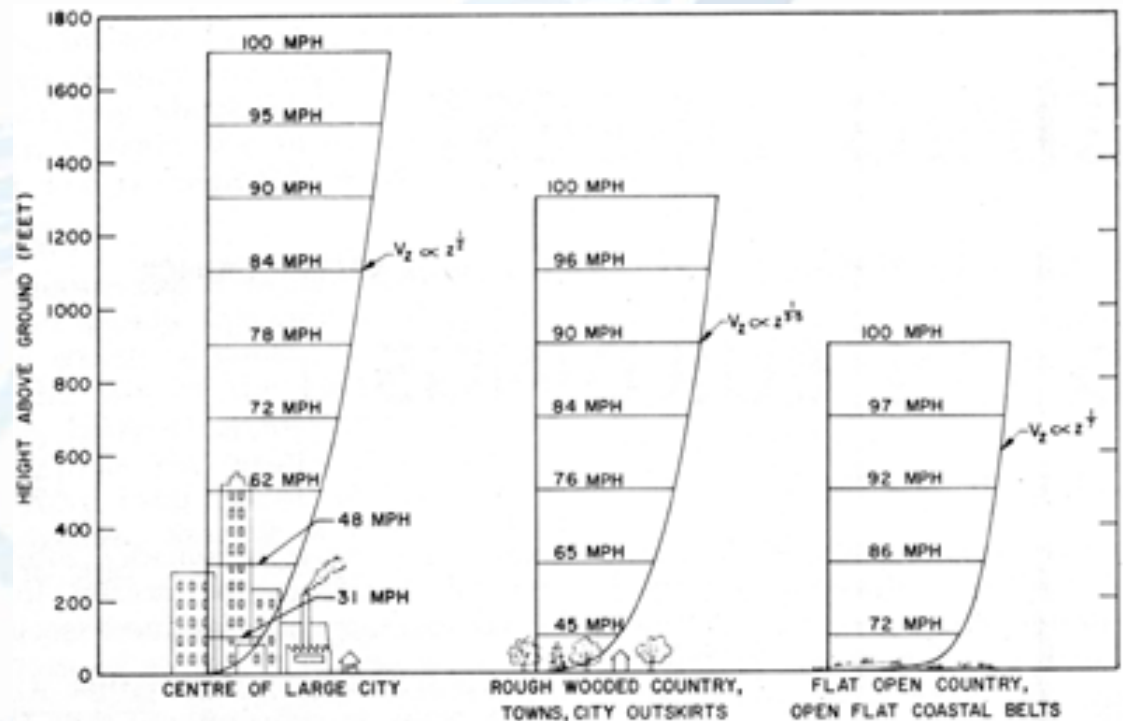
α = the wind shear exponent (Surface Roughness)

Open water	0.1
Smooth,, grass-covered	0.15
Row crops/ bushes	0.2
Heavy trees / buildings / hills	0.25

דוגמא :

באזור בנוי – בגובה של 10 מ'
מהירות הרוח 5 מ/ש

בגובה 40 מ'
המהירות 7.1 מ/ש

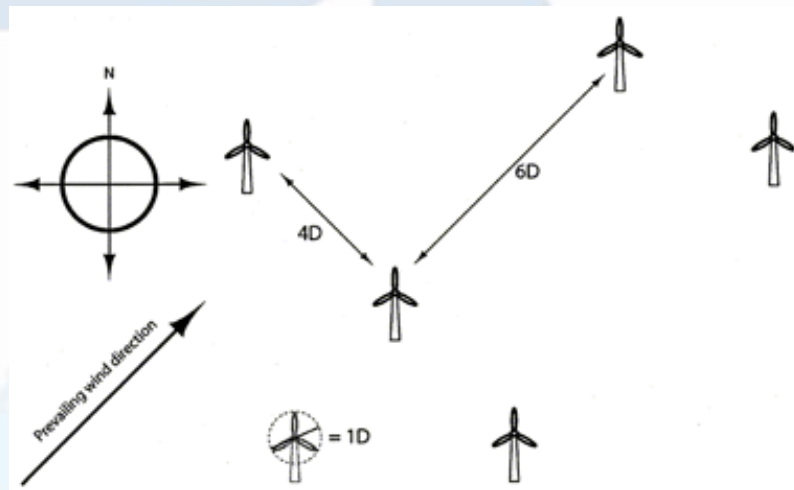
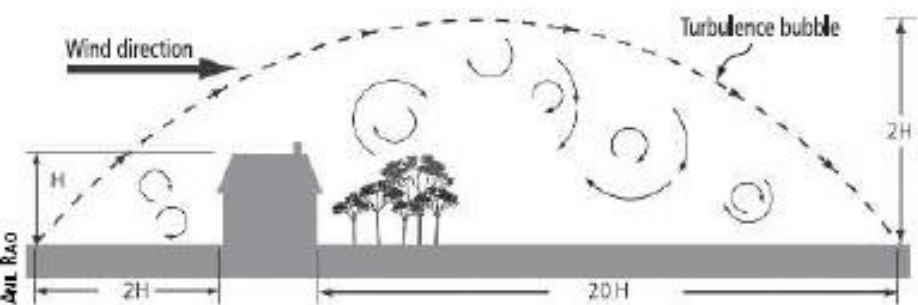


= תוספת של 180% אנרגיה!

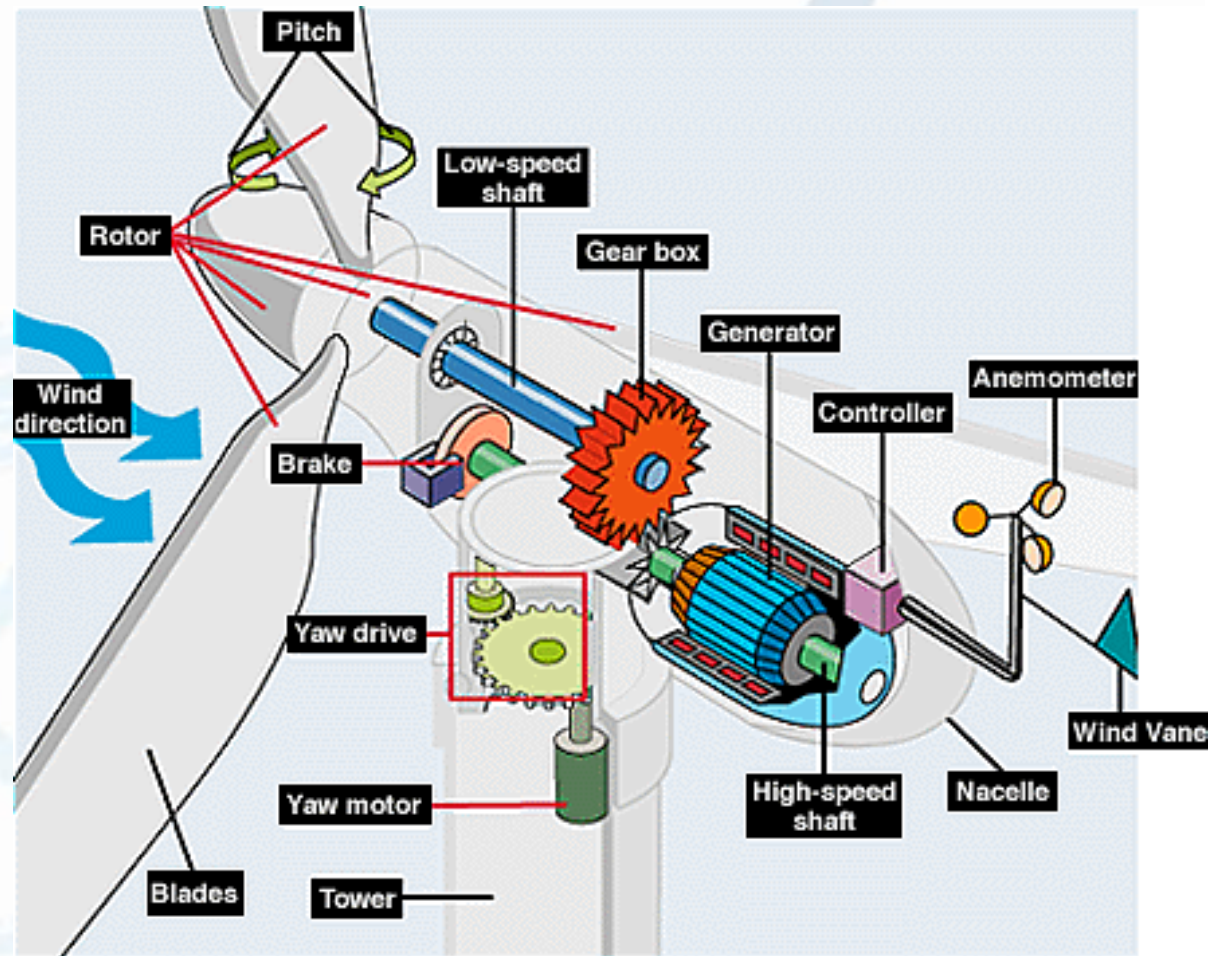
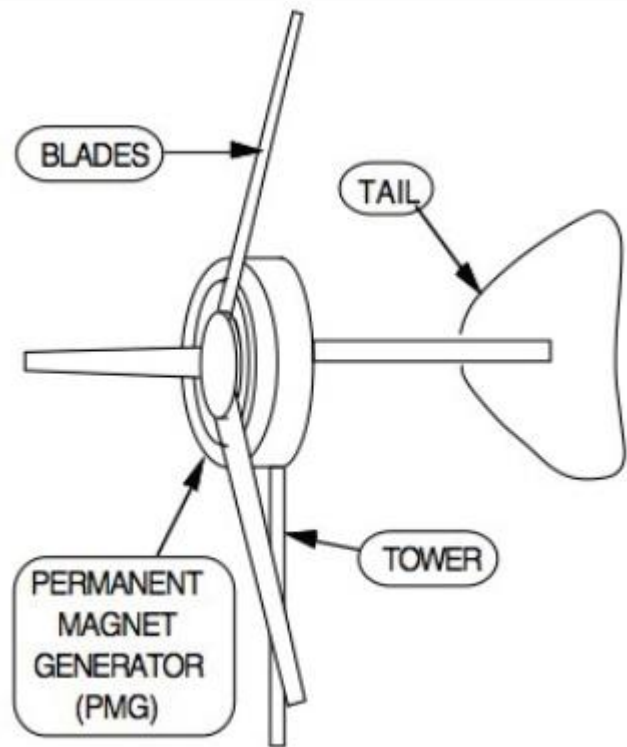
מכשולים בסביבת טורבינות

– שמירה על מרחק למניעת מערבולתיות, הפחתת מהירות הרוח

– מניעת הפרעה הדדית



מבנה טורבינות רוח



טורבינות ציר אופקי

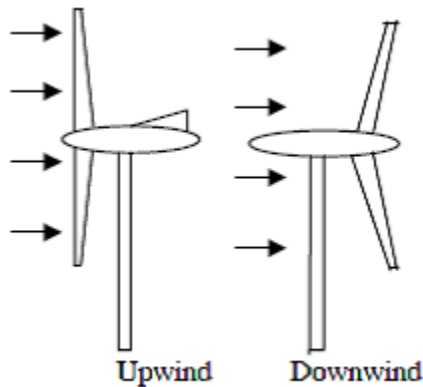
– שטח פנים πr^2

– נדרש כיוון הדיסקה אל הרוח

– נצילות גבוהה

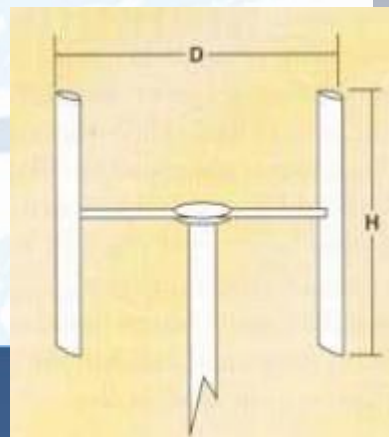
– מחיר נמוך

– Upwind/downwind



טורבינות ציר אנכי

- שטח פנים $D * H >$
- אין צורך לכוון אל הרוח
- נצילות נמוכה מציר אופקי
- דחף/עילוי
- מחחיר גבוה (דחף)

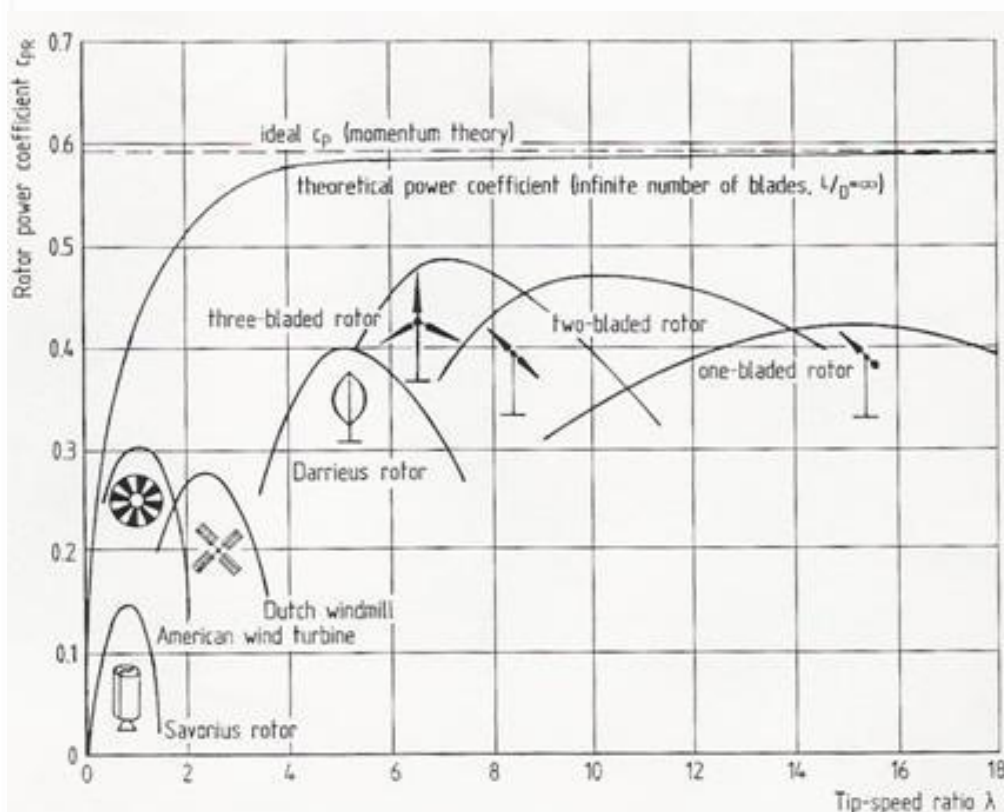


All rights reserved- Enter-Tech Cleantech Solutions



מהירות סיבוב הרוטור ונצילות

- ❖ טורבינות הפועלות על דחף – מהירות קצה הכנף קטנה או שווה למהירות הרוח
- ❖ טורבינות ציר אופקי עם 3 להבים- מהירות סיבוב קצה כנף כ- $7 \times$ מהירות הרוח

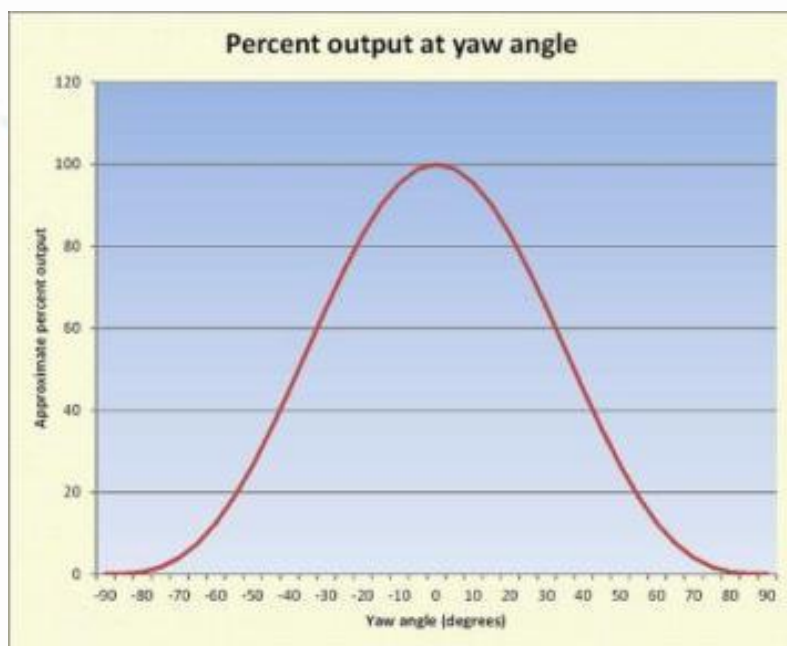


Model	Blade Length	RPM
Enercon E-126 7.5MW	63.5	5-11.7
Vestas V100 2.75 MW	50m	7.2-15.3
GE1.5MW	32.25m	11-22
GHREPOWER 50KW	10m	50-60
2 KW SWT	1.75	550

כיוון הרוטור וכיוון הלהבים

Yaw Control

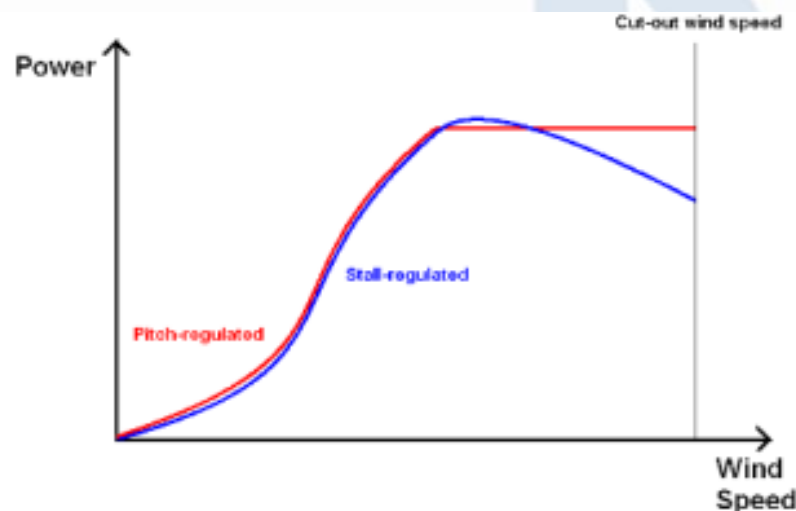
- Yaw Power loss= $(\cos(\text{yaw angle}))^3$



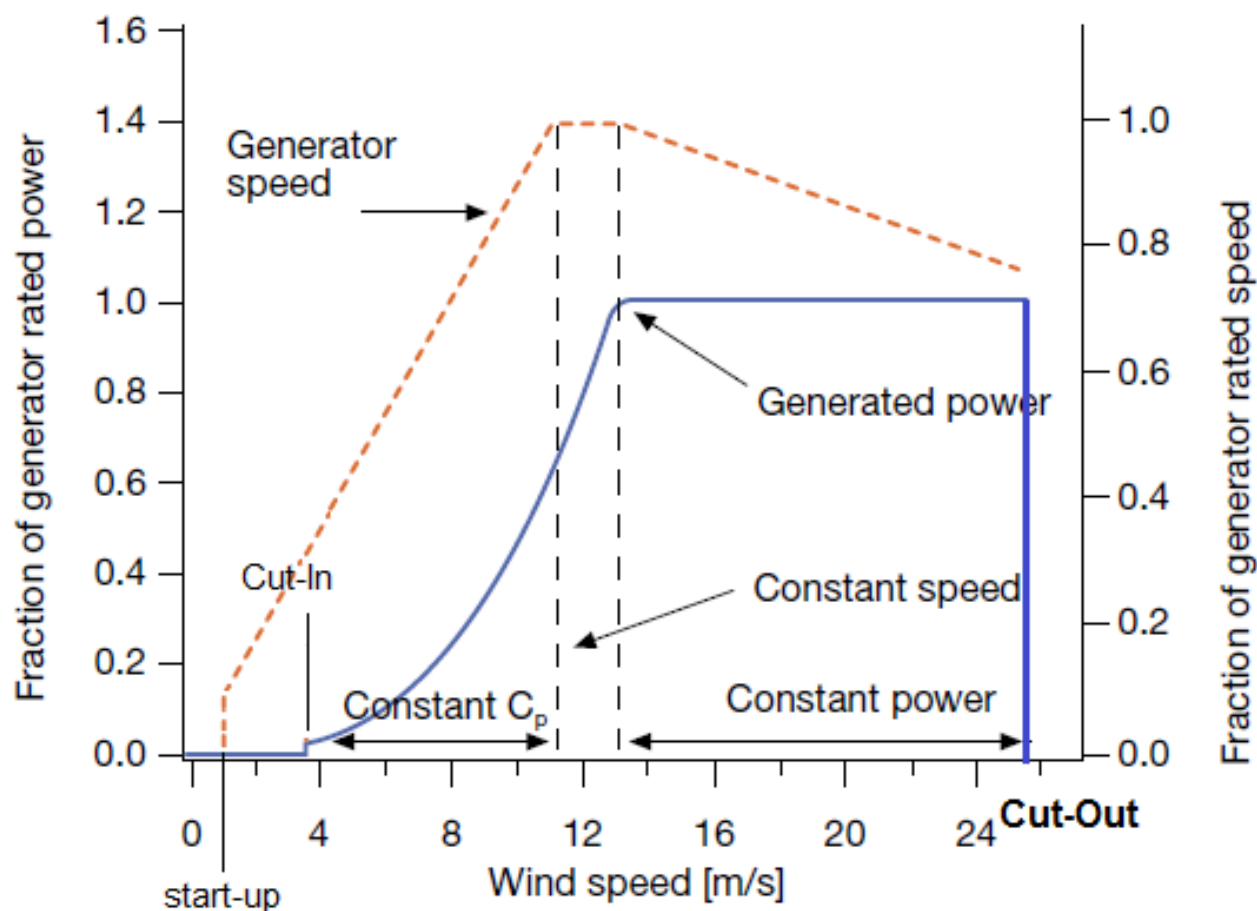
Blade Regulated WTGs

Pitch Control- blade turns around axis to actively control low-speed shaft for a more clean power curve

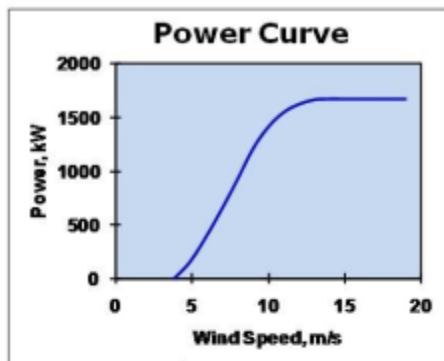
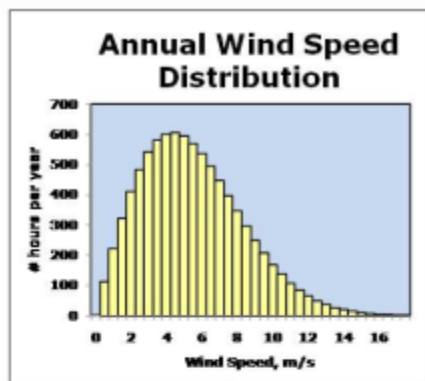
Stall – blade position fixed, angle of attack increases with wind speed until stall occurs behind blade



עקומת ההספק של טורבינת רוח



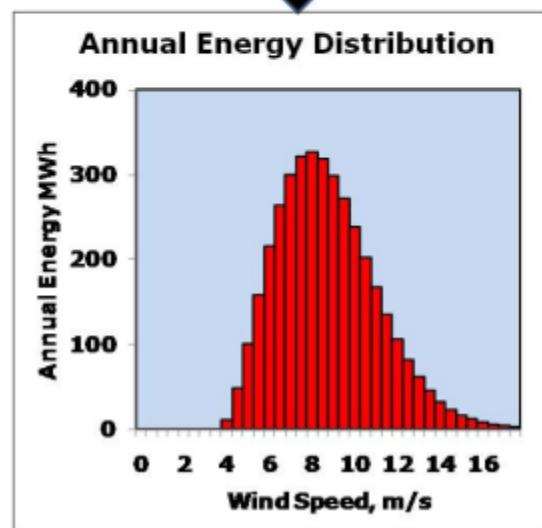
- תפוקה שנתית – AEP ו- C_f



צירוף נתוני עקומת ההספק של הטורבינה עם התפלגות מהירות הרוח באתר מאפשרת חישוב התפוקה השנתית הצפויה

Capacity Factor- C_f

תפוקת הטורבינה בהשוואה לעבודת הטורבינה בתפוקה מלאה במהלך כל השנה

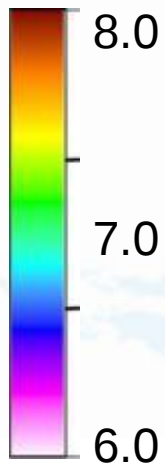
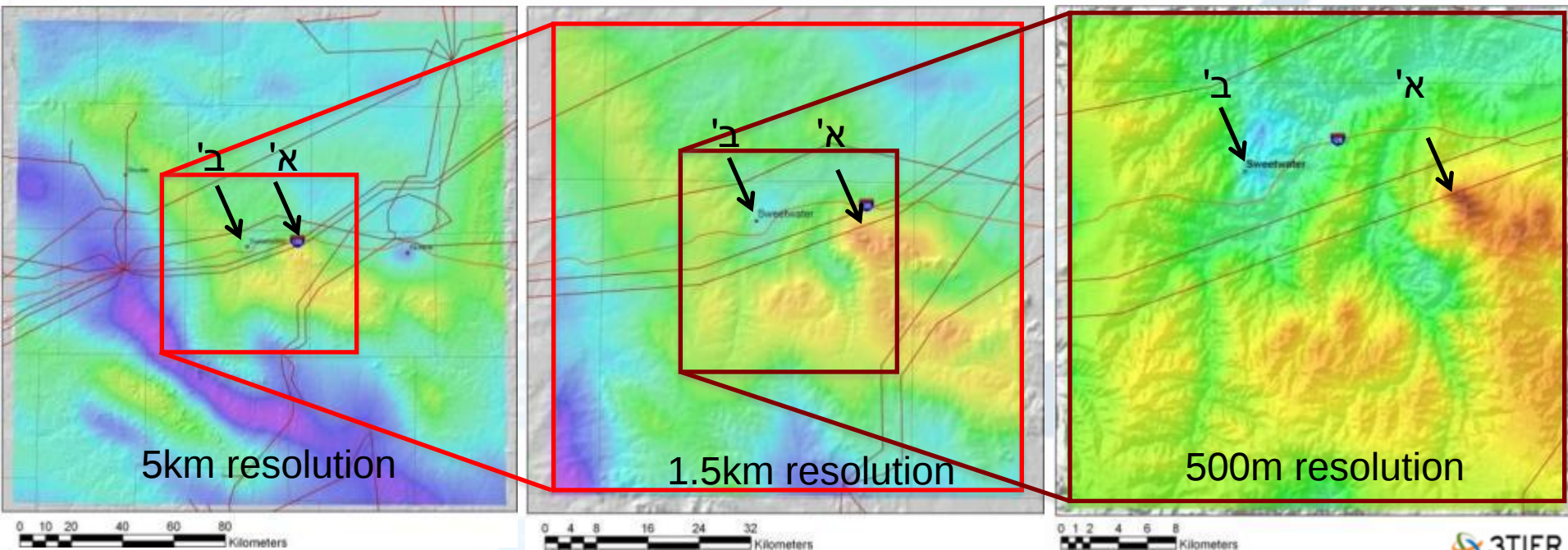


Total Annual Energy Generated = 3,800 MWh (MegaWatt Hours)

Example: Vestas V82

$$CF = 3,800 \text{ MWh} / (1.7 \text{ MW} * 8760 \text{ hr}) = 25\%$$

חשיבות המיקום ורזולוציית הנתונים

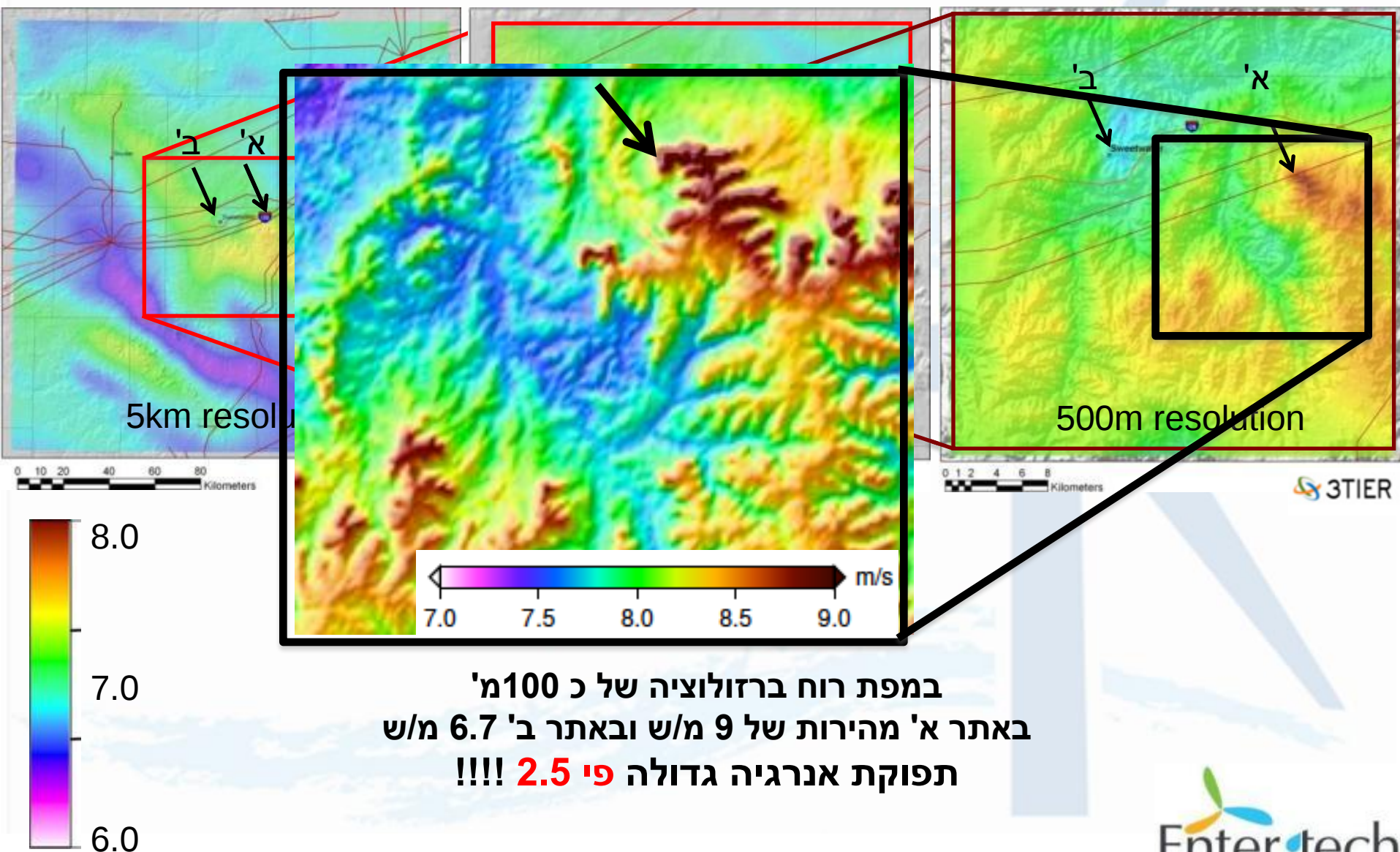


At 5km resolution =
At 1.5km resolution =
At 500m resolution =

אתר ב'
~7.1m/s
~6.9m/s
~6.8m/s

אתר א'
~7.5m/s
~7.7m/s
~8.0m/s

חשיבות המיקום ורזולוציית הנתונים



במפת רוח ברזולוציה של כ 100 מ'
באתר א' מהירות של 9 מ/ש ובאתר ב' 6.7 מ/ש
תפוקת אנרגיה גדולה פי 2.5 !!!!

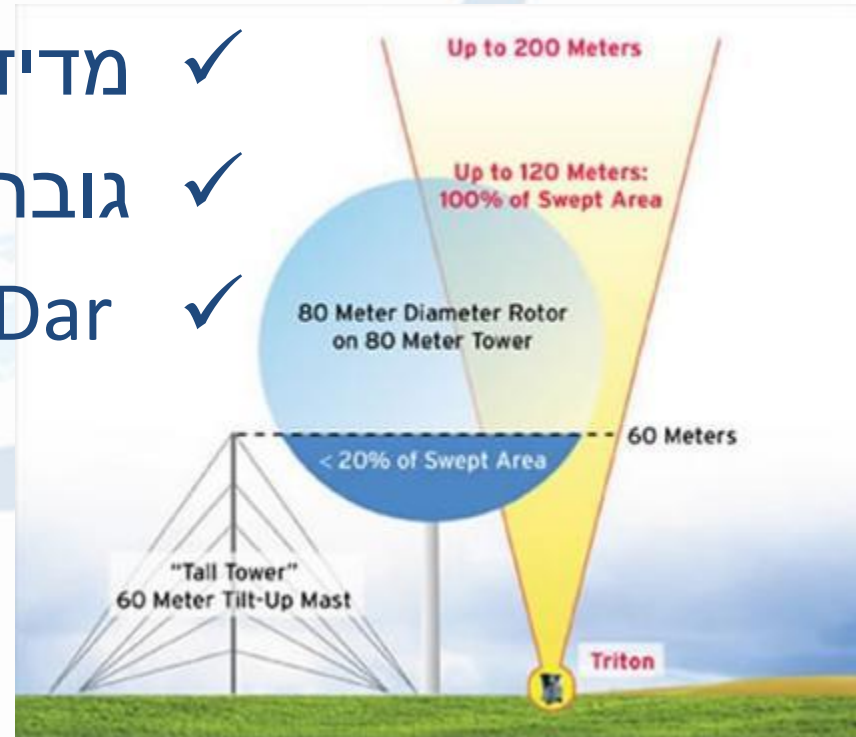
מדידות רוח וטכנולוגיות

✓ מדידות במשך לפחות שנה

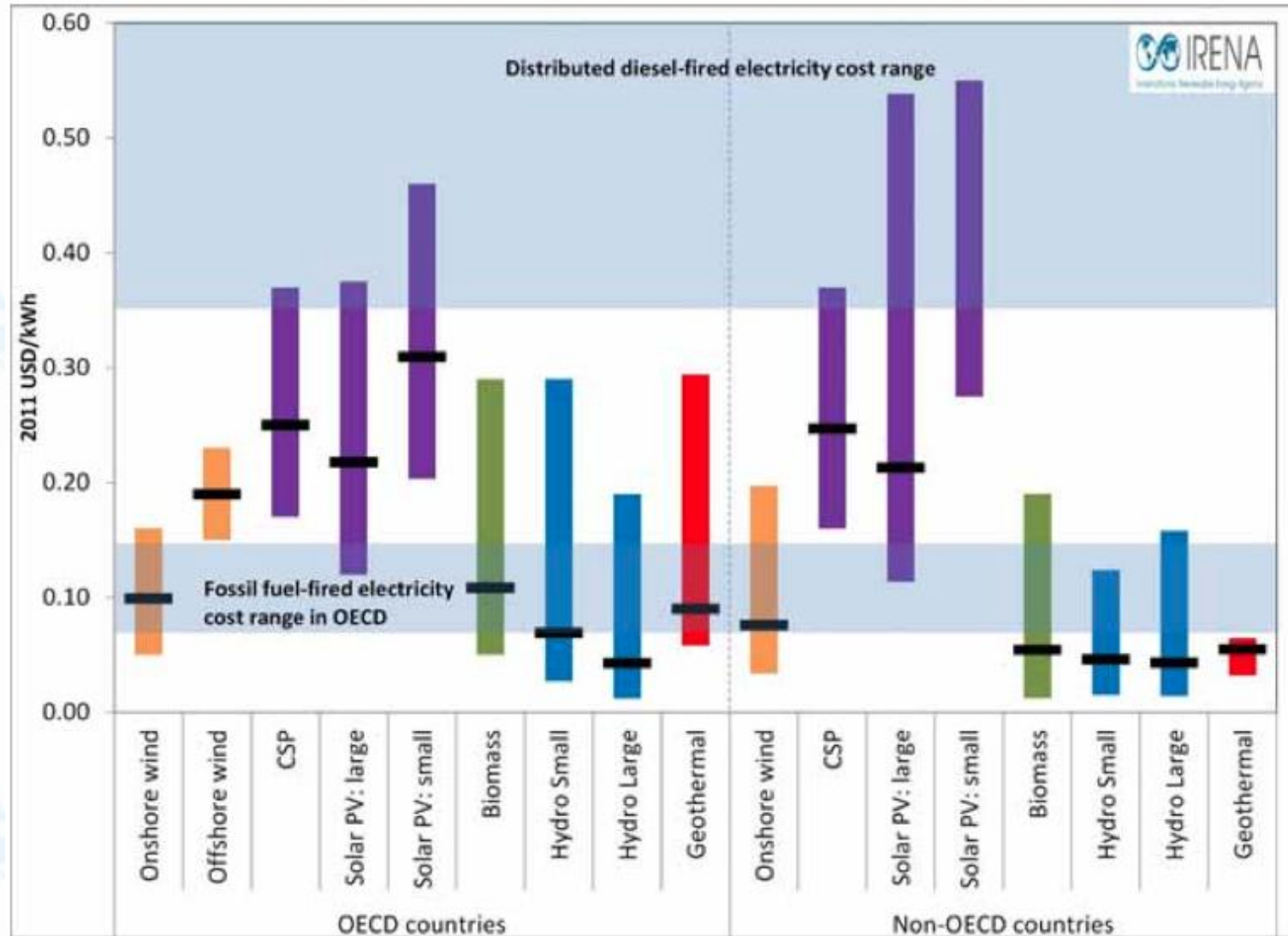
✓ גובה תורן וגובה טבור

✓ Sodar/ Lidar/ SpiDar

*Laser/sound Imaging Detection and Ranging



IRENA's Cost Analysis: Onshore wind is competitive



אנרגיית רוח בישראל

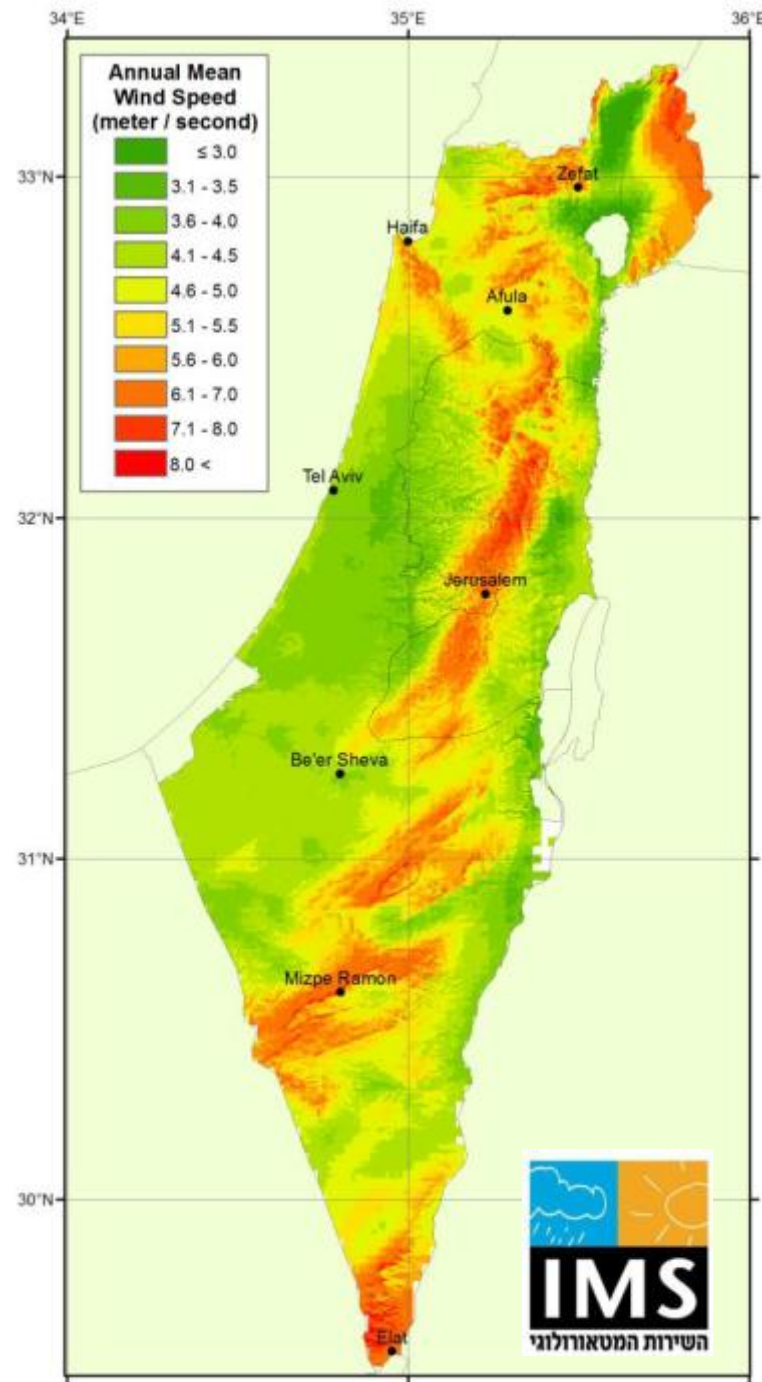
✓ פוטנציאל לאספקת כשליש מצרכי האנרגיה

✓ אנרגיית רוח ושמש הם המקורות המתחדשים היחידים

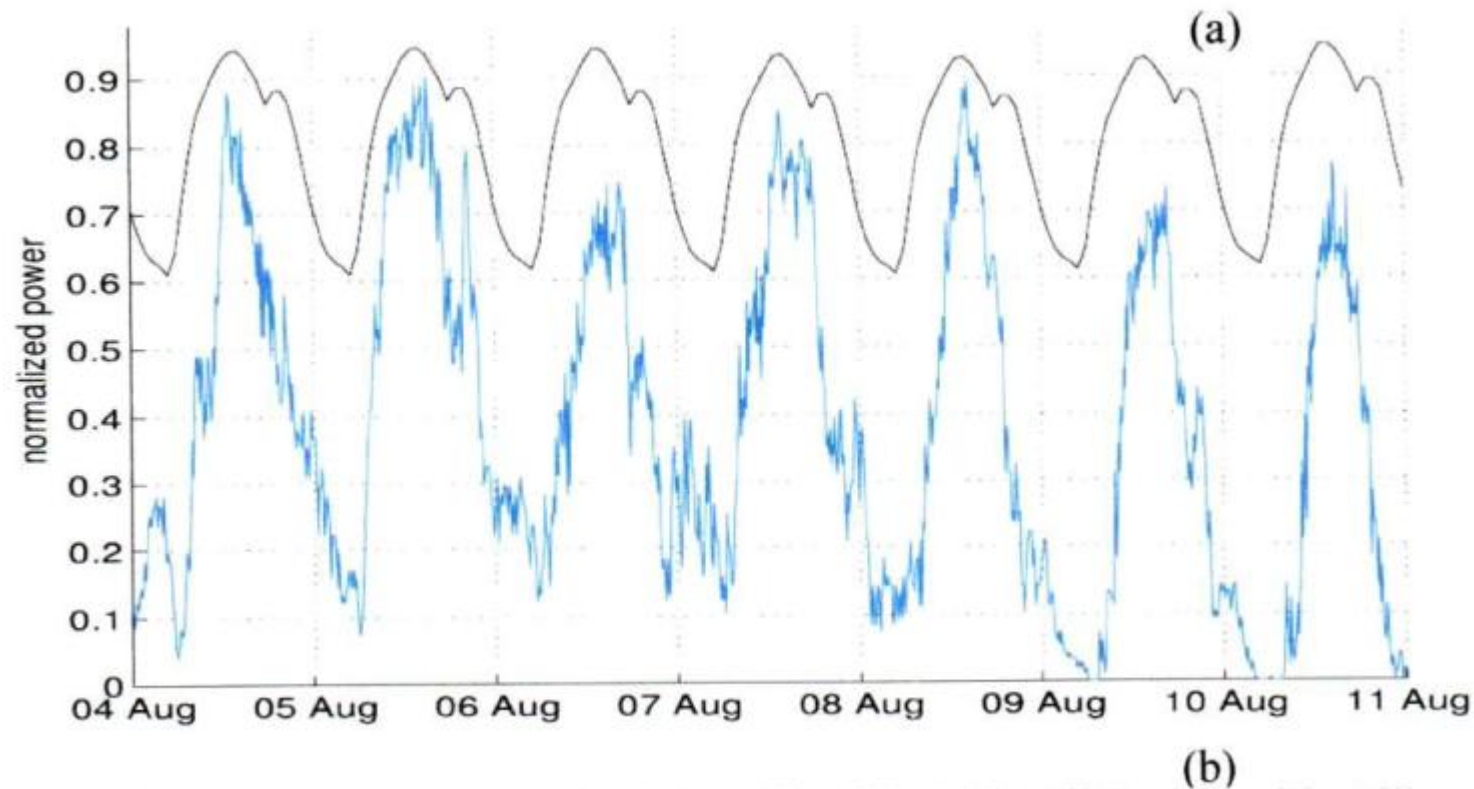
✓ תאימות גבוהה והשלמה בין רוח לשמש בישראל

✓ מחסור במים- טכנולוגיה יחידה שאינה זקוקה למים

✓ מדינה עם מחסור בקרקעות- לטורבינות טביעת רגל מזערית

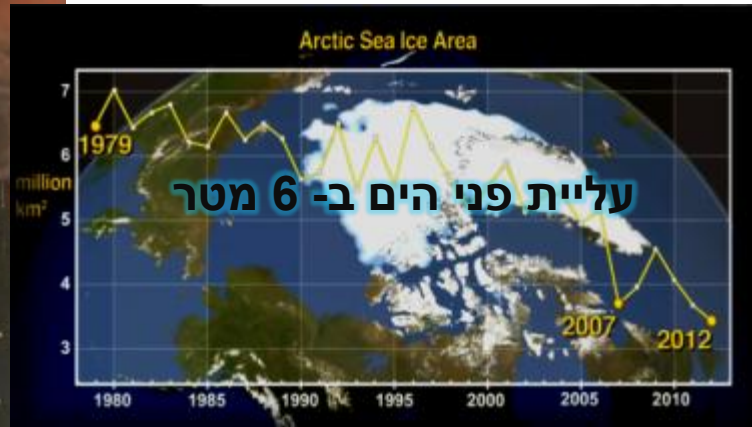


התאמת צריכת חשמל לזמינות אנ' רוח



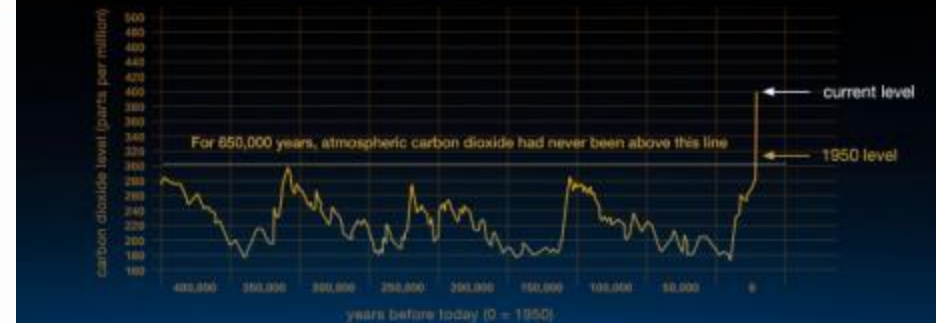
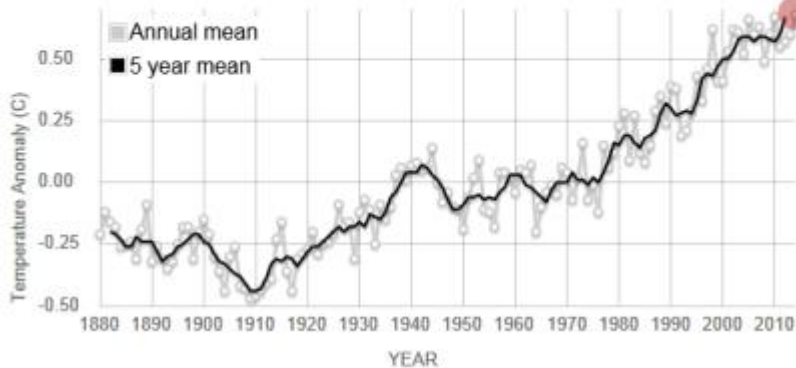
* Hanan Einav Levi, Aviv Rosen, Pinhas Alpert- Diurnal variation of wind speed in Israel and correlation to electricity consumption

השפעות סביבתיות

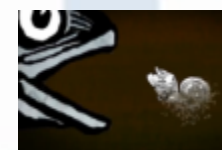


GLOBAL LAND-OCEAN TEMPERATURE INDEX

Data source: NASA's Goddard Institute for Space Studies (GISS).
Credit: NASA/GISS



השפעות סביבתיות



**הכחדת הפלנקטון
באוקינוס מרמת חומציות
גבוהה (CO2)**



מקורות לפגיעת בני אדם בבעלי כנף

Estimated Annual Mortality (in millions of birds)

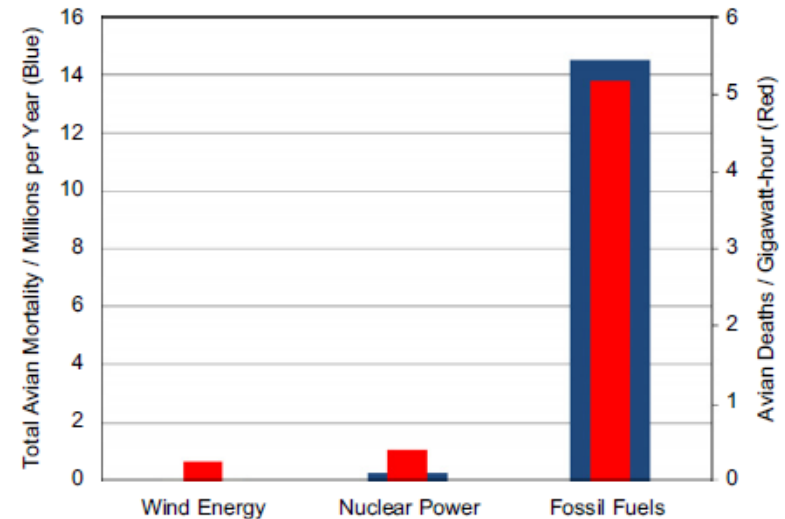
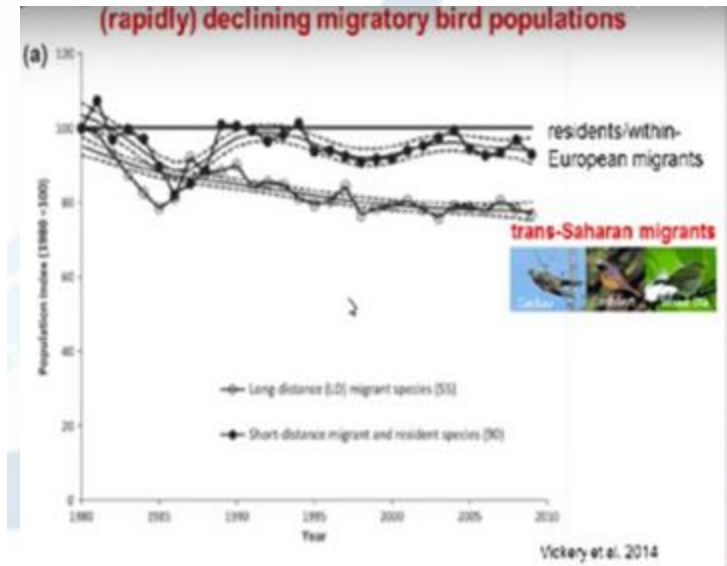
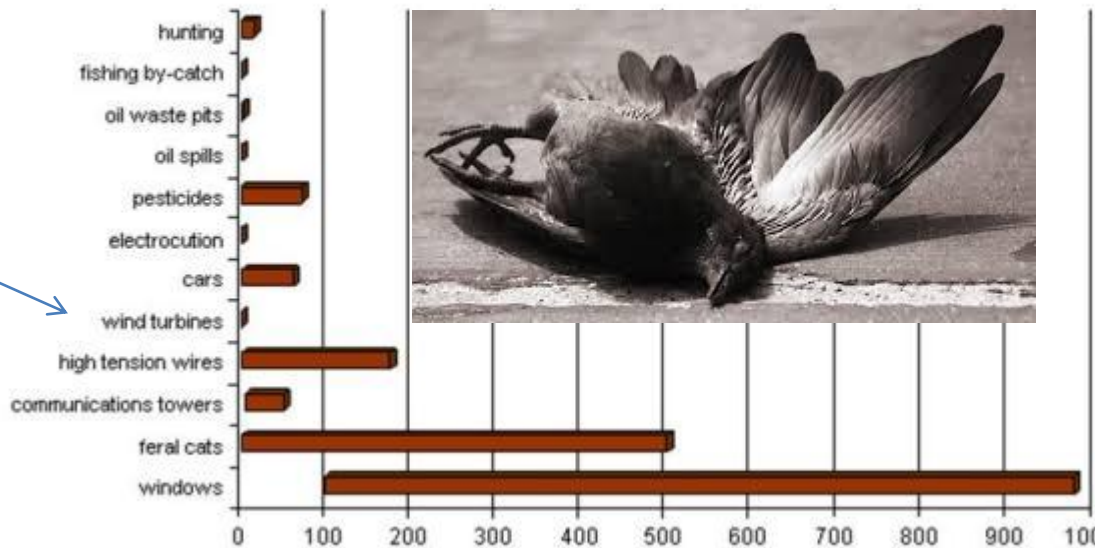


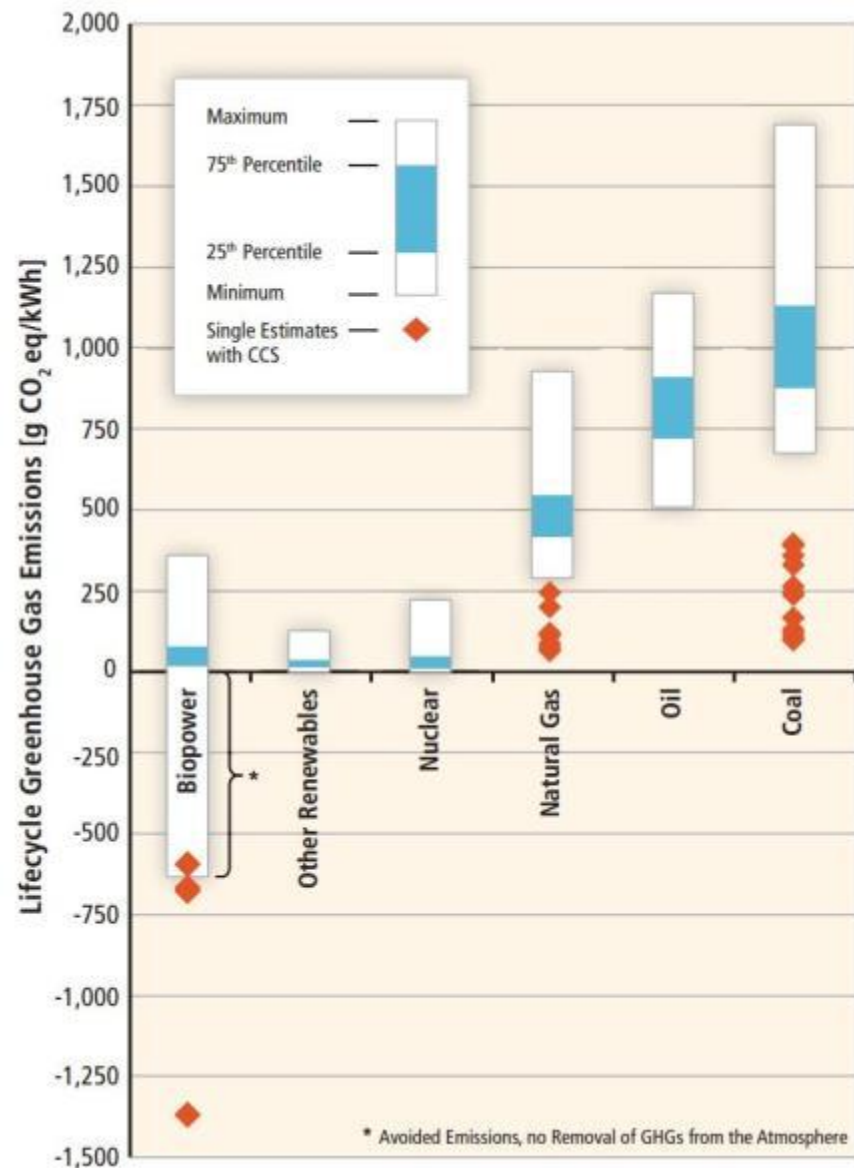
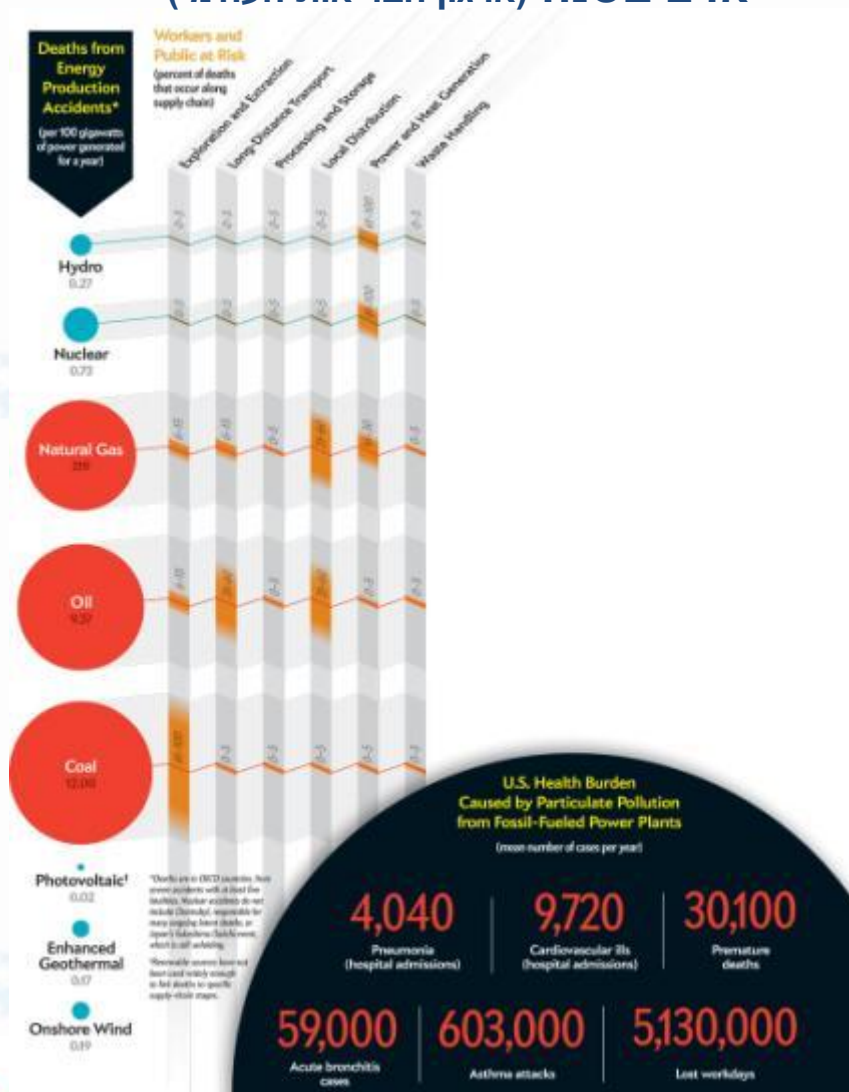
Fig. 1. Estimated avian mortality for wind, fossil-fuel, and nuclear energy per year. (Readers are invited to view the online version of the article to decipher the references to color.)



בין 20% ל 30% ממיני הצמחים ובעלי החיים צפויים להיות
בסכנת הכחדה רק מעליית טמפ' כדור הארץ ב 2°C *

השפעות סביבתיות על בני אדם - תמותה ומחלות

זיהום אויר גורם לתמותת 6.5 מיליון בני אדם בשנה (ארגון הבריאות העולמי)



המשך שימוש בדלקים פוסיליים = התחממות גלובלית + עליית רמת CO2

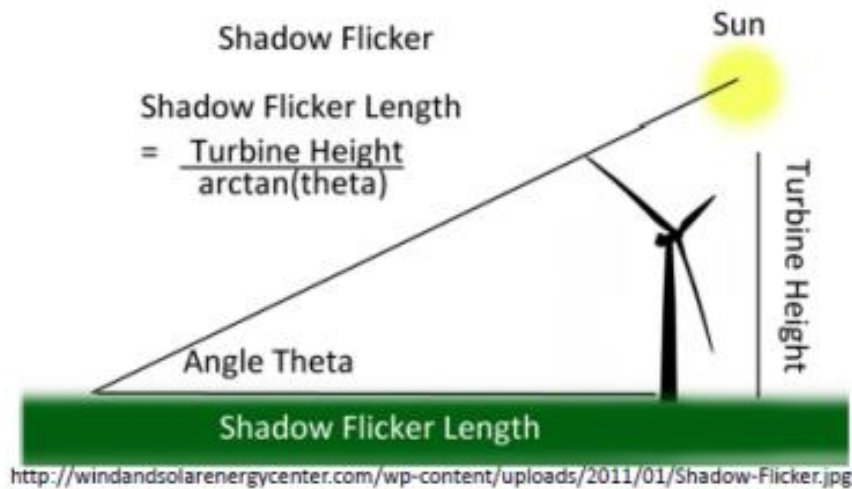
- התחממות גלובלית
- המסת קרחונים בפסגות ובקטבים
- עליית פני הים ב 6-13 מ' בעלייה של 2-1 מעלות- הצפת חלקים גדולים מהיבשות
- בצורת וירידה בתבואה
- ארועים אטמוספריים ומזג אויר חריגים
- עליית חומציות האוקינוסים
- תמותת 6.5 מליון בני אדם בשנה (ארגון הבריאות העולמי)
- שחפת, מחלות לב, ברונכיט, אסטמה...
- סכנת הכחדה ל- 20 עד 30% ממיני בעלי החיים
- קיצור מסלולי נדידה של בעלי כנף - השמדת 15-37% ממיני הציפורים הנוודות עד 2050.
- בישראל נהרגים מדי שנה כ- 300,000 בעלי כנף מזיהום אויר
- הכחדת הפלנקטון - הרס שרשרת המזון של בעלי החיים בים
- השמדת שוניות האלמוגים
- השמדת אוכלוסיית דובי הקוטב
-

סקר השפעה על הסביבה

- ✓ **Wildlife** habitats flora & fauna
- ✓ **Natural Heritage**
- ✓ **Geology** & hydrogeology, soil erosion
- ✓ **Airborne dust**
- ✓ **Architectural Heritage**
- ✓ **Noise** - aerodynamic & mechanical +construction
- ✓ **Safety & health**— Ice Throw, construction phase
- ✓ **Proximity to Roads and Railways**
- ✓ **Increased Traffic**
- ✓ **Proximity to Power Lines**
- ✓ **Interference with Communication Systems**
- ✓ **Air Traffic Safety**
- ✓ **Shadow Flicker**
- ✓ **Windtake distance**
- ✓ **Decommissioning**



הצללה, ריצוד ורעש



- ✓ ריצוד – משמעותי עד 400 מ'
- ✓ תדר הריצוד – כ- 1 הרץ (נמוך בהרבה מתדר שמעורר התקפי אפילפסיה – 16-25 הרץ)
- ✓ מקובל להגביל ל 30 דקות בין ו- 30 שעות בשנה



- ✓ תחום תדרי שמע 20 עד 20,000 הרץ
- ✓ תקן בינלאומי לנושא רעש - IEC 61400-11
- ✓ תקן ישראלי לרעש
- ✓ 100 dBA בטבור הטורבינה יורד עם המרחק.
- ✓ 40 dBA ממוצע יומי, 10 dBA מעל רעש הרקע



Source: Pembina Institute (<http://www.pembina.org/docs/re/web-eng-wind-factsheet.pdf>)

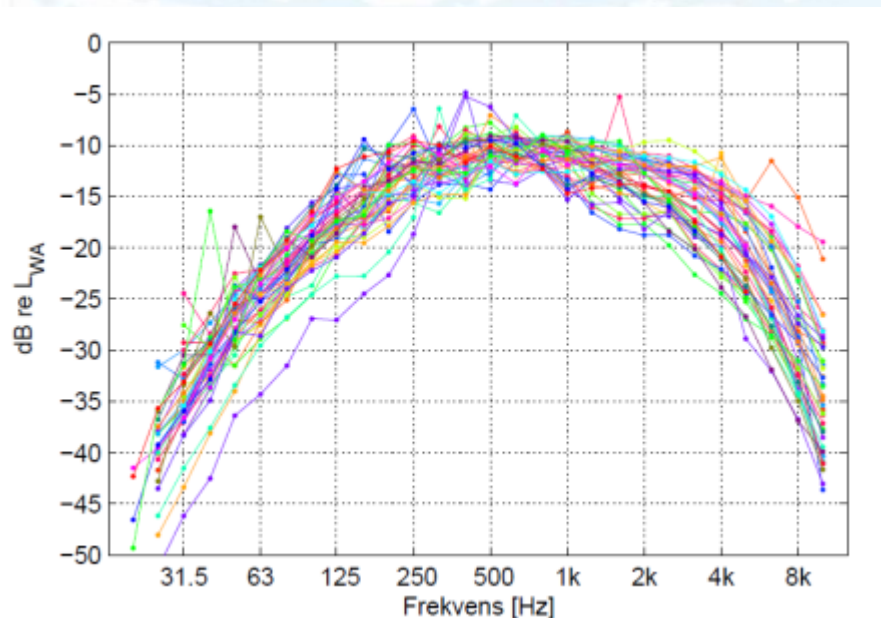


Middlesbrough Football Club

Vensys VE 87 1.5MW - hub height 85m , rotor diameter of 87m
provide 100% of the Club's annual electricity requirement for its expected 25 year lifetime

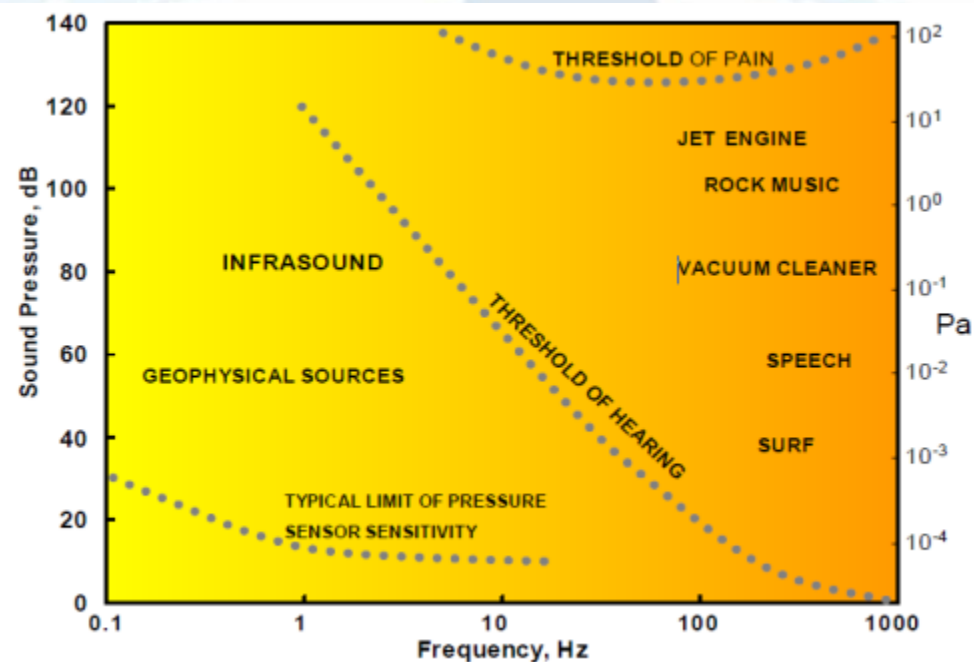
רעש סב-סוני?

- ✓ תדר מתחת לתחום השמע של בני אדם
- ✓ נוצר ע"י רעמים, מפלי מים, ברקים, מזגנים, רכבים, רכבות, לוייתנים, קרנפים תנינים, ...
- ✓ בחינות מקיפות המראות כי עוצמת רעש סב-סוני מטורבינות נמוך בהרבה מאחרים ובודאי שאינו מזיק



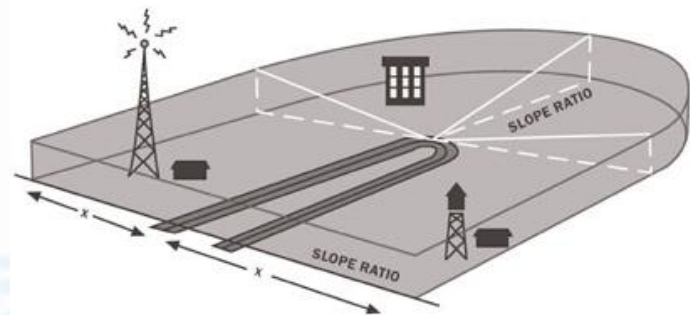
תוצאות בדיקות 48 סוגי טורבינות

Aalborg university- Denmark



תעופה הפרות מכ"מ ו - EMI

- ✓ מידת הפרעה פיזית
- ✓ מרחק משדדות תעופה
- ✓ אזורי תעופה נמוכה



Criteria for aviation obstructions that trigger FAA notification and permit:

- Antenna penetrates surface. FAA notice required.
- Airports with one runway more than 3,200 ft long, $X=20,000$ ft. Slope ratio 100:1
- Airports with no runway over 3,200 ft. long $X = 10,000$ ft. Slope ratio 50:1

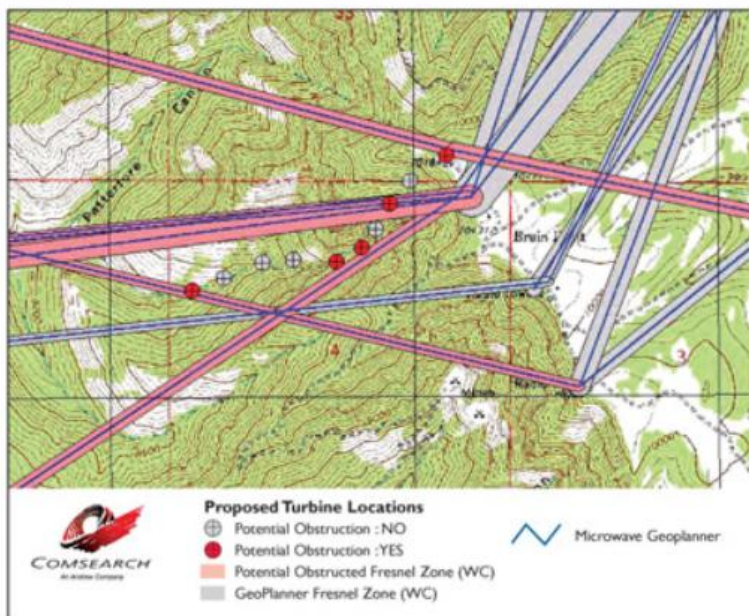
Source: Federal Aviation Administration

✓ הפרעות אלקטרומכנטיות

✓ אין קרינה מסכנת כלשהי

✓ החזרים של אותות מכ"ם מהלהבים

✓ תקשורת מיקרוגל



Topo map of wind project with proposed turbine locations, and microwave beam paths superimposed over site to determine where potential communications interference may occur.

Source: Lester E. Polisky, Identifying and Avoiding Radio Frequency Interference (RFI) to Microwave Systems, TV Reception, Telephone Operations from Wind Turbines, American Wind Energy Association 2005 Conference Proceedings, Denver, CO

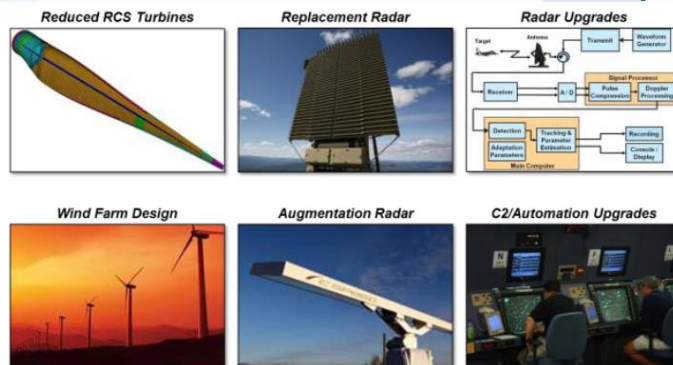
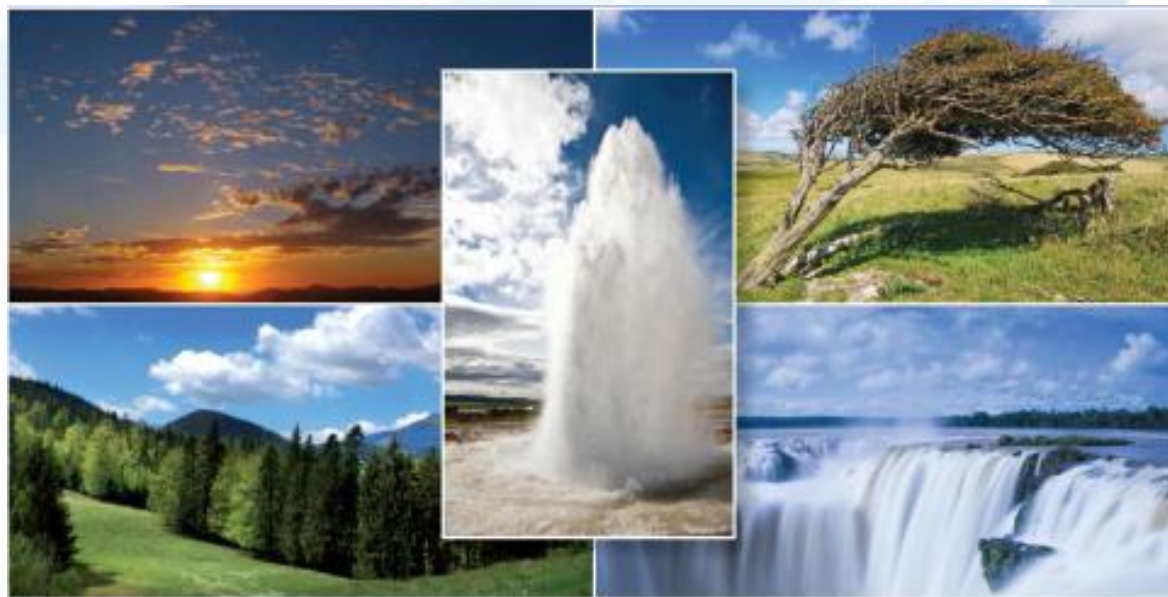


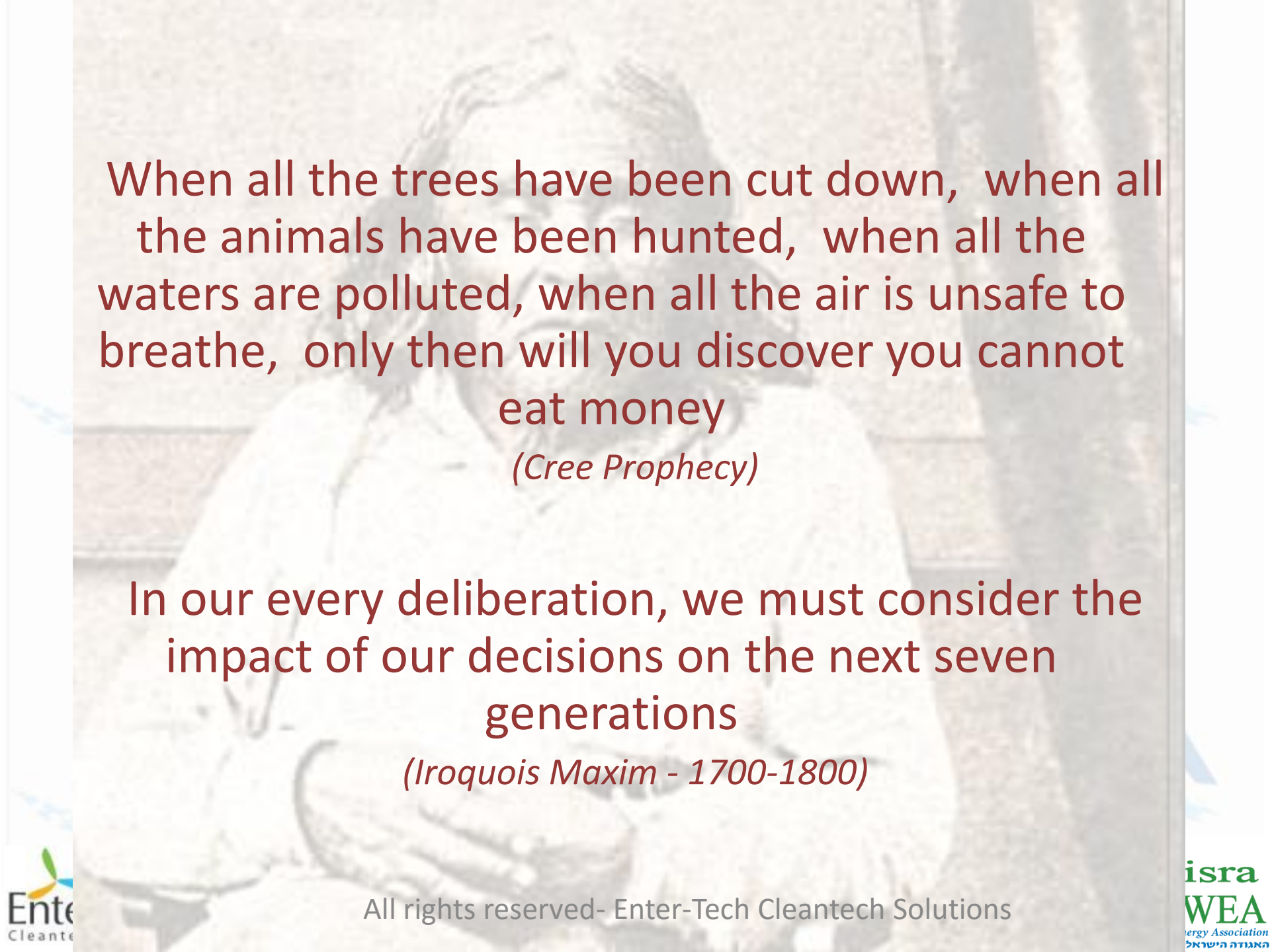
Figure 2-2: Proposed Wind Turbine/Radar Interference Mitigations (NOTE: Not all mitigation types were selected for testing)

All rights reserved- Enter-Tech Cleantech Solutions

אין חלופה אחרת אלא מעבר לאנרגיות מתחדשות

- ❖ הסכמי COP21-196 מדינות מסכימות על איזון פליטות גזי חממה עד 2050 שיכול להיות מושג רק על-ידי מעבר מאסיבי לאנרגיות מתחדשות
- ❖ מנהיגי ה-G7 על עצירה וחלטת של מקורות פולטי פחמן עד סוף המאה
- ❖ רוב הממשלות בעולם מעוניינות לכלול יעד של 100% אנרגיות מתחדשות בהסכם פאריז





When all the trees have been cut down, when all
the animals have been hunted, when all the
waters are polluted, when all the air is unsafe to
breathe, only then will you discover you cannot
eat money

(Cree Prophecy)

In our every deliberation, we must consider the
impact of our decisions on the next seven
generations

(Iroquois Maxim - 1700-1800)

עתיד ילדינו בידיים שלנו



Symphony of the Renewables

שאלות?