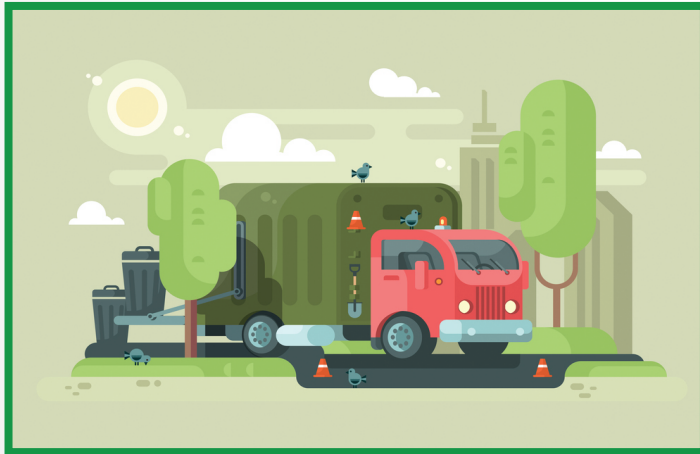




## סביבה ואנרגיה

בטחון באספקת אנרגיה בישראל  
סיכום והמלצות דיון  
פורום אנרגיה 37  
פרופ' גרשון גרוסמן  
יגאל עברון



תכנון ארוך טווח

תעשייה וחדשנות

תשתיות פיזיות

בריאות

הון אנושי

השכלה גבוהה

חברה

חינוך

כלכלה

מדע וטכנולוגיה



## אודות מוסד שמואל נאמן

מוסד שמואל נאמן הוקם בטכניון בשנת 1978 ביוזמת מר שמואל (סם) נאמן והוא פועל להטמעת חזונו לקידומה המדעי-טכנולוגי, כלכלי וחברתי של מדינת ישראל.

מוסד שמואל נאמן הוא מכון מחקר המתמקד בהתווית מדיניות לאומית בנושאי מדע וטכנולוגיה, תעשייה, חינוך והשכלה גבוהה, תשתיות פיסיות, סביבה ואנרגיה ובנושאים נוספים בעלי חשיבות לחוסנה הלאומי של ישראל בהם המוסד תורם תרומה ייחודית. במוסד מבוצעים מחקרי מדיניות וסקירות, שמסקנותיהם והמלצותיהם משמשים את מקבלי החלטות במשק על רבדיו השונים. מחקרי המדיניות נעשים בידי צוותים נבחרים מהאקדמיה, מהטכניון ומוסדות אחרים ומהתעשייה. לצוותים נבחרים האנשים המתאימים, בעלי כישורים והישגים מוכרים במקצועם. במקרים רבים העבודה נעשית תוך שיתוף פעולה עם משרדים ממשלתיים ובמקרים אחרים היוזמה באה ממוסד שמואל נאמן וללא שיתוף ישיר של משרד ממשלתי. בנושאי התוויית מדיניות לאומית שעניינה מדע, טכנולוגיה והשכלה גבוהה נחשב מוסד שמואל נאמן כמוסד למחקרי מדיניות המוביל בישראל.

עד כה ביצע מוסד שמואל נאמן מאות מחקרי מדיניות וסקירות המשמשים מקבלי החלטות ואנשי מקצוע במשק ובממשל. סקירת הפרויקטים השונים שבוצעו במוסד מוצגת באתר האינטרנט של המוסד. בנוסף מוסד שמואל נאמן מסייע בפרויקטים לאומיים דוגמת המאגדים של משרד התמ"ס - מגני"ט בתחומים: ננוטכנולוגיות, תקשורת, אופטיקה, רפואה, כימיה, אנרגיה, איכות סביבה ופרויקטים אחרים בעלי חשיבות חברתית לאומית. מוסד שמואל נאמן מארגן גם ימי עיון מקיפים בתחומי העניין אותם הוא מוביל.

יו"ר מוסד שמואל נאמן הוא פרופ' זאב תדמור וכמנכ"ל מכהן פרופ' עמרי רנד.



כתובת המוסד :

מוסד שמואל נאמן, קרית הטכניון, חיפה 32000

טלפון : 04-8292329, פקס : 04-8231889

כתובת דוא"ל : [info@neaman.org.il](mailto:info@neaman.org.il)

כתובת אתר האינטרנט : [www.neaman.org.il](http://www.neaman.org.il)

# ביטחון באספקת אנרגיה בישראל

סיכום והמלצות דיון

פורום האנרגיה של מוסד שמואל נאמן

הטכניון

מיום 15.6.2016

נערך ע"י:

פרופ' גרשון גרוסמן

יגאל עברון

אוגוסט 2016



---

אין לשכפל כל חלק מפרסום זה ללא רשות מראש ובכתב ממוסד שמואל נאמן מלבד לצורך ציטוט של קטעים קצרים במאמרי סקירה ופרסומים דומים תוך ציון מפורש של המקור. הדעות והמסקנות המובאות בפרסום זה הן על דעת המחברים ואינן משקפות בהכרח את דעת מוסד שמואל נאמן.



## רשימת משתתפי הפורום:

תואר	שם משפחה	שם פרטי	תפקיד
פרופ'	אילון	אופירה	מוסד שמואל נאמן
פרופ'	אלכסנדרוביץ	אברהם	הטכניון - הפקולטה להנדסת חשמל
ד"ר	ארביב	אברהם	משרד התשתיות, האנרגיה והמים - סגן המדען הראשי לשעבר
ד"ר	בן-חיים	חנוך	חברת החשמל
פרופ'	גרוסמן	גרשון	הפקולטה להנדסת מכונות, הטכניון, ומוסד שמואל נאמן
ד"ר	וינשטוק	דן	יועץ חשמל
ד"ר	לב-און	מרים	The Levon Group LLC
ד"ר	לב-און	פרי	The Levon Group LLC
ד"ר	ניב	יהודה	משרד האנרגיה והמים - ראש מינהל החשמל לשעבר
מר	עברון	יגאל	הפקולטה להנדסת מכונות, הטכניון, ומוסד שמואל נאמן
גבי	עציון	נעמי	חברת החשמל - תפ"ט
ד"ר	פרידמן	גדעון	משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים
מר	שביב	אלעד	מנכ"ל האיגוד הישראלי לאנרגיה חכמה

## הבעת תודה

המחברים מודים למרצים על המידע שהציגו ולכלל משתתפי הפורום על תרומתם לדיון הפתוח.

## תוכן העניינים

1.....	תקציר מנהלים.....
4.....	פרק 1 : הקדמה .....
5.....	פרק 2 : רקע .....
6.....	פרק 3 : מידע בנושא : ביטחון באספקת אנרגיה בישראל.....
25.....	פרק 4 : דיון .....
38.....	פרק 5 : סיכום והמלצות .....
40.....	פרק 6 : רשימת מקורות.....
41.....	נספח 1 – תכנית פורום אנרגיה : ביטחון באספקת אנרגיה לישראל.....

**נספחים**



## תקציר מנהלים

בישראל, כמו במדינות רבות במערב, קיימת הבנה כי הביטחון הלאומי של המדינה תלוי במידה רבה בתפקוד נאות של התשתיות הלאומיות, וביניהן אספקה סדירה ובטוחה של אנרגיה לסוגיה השונים. מבין תשתיות האנרגיה הרגישה במיוחד היא מערכת החשמל, בה אי-אספקה עקב תקלה, חבלה או כל סיבה אחרת עלולה לגרום לקריסה של מערכות רבות, אזרחיות וצבאיות, התלויות בה. אי אספקה זמנית של מקורות אנרגיה אחרים, כגון דלקים לתחבורה ולתעשייה, פחות קריטית מבחינת המשק כל עוד איננה נמשכת זמן רב מידי, אך גם כאן על מדינה אחראית לדאוג למלאים מתאימים ולדרכי אספקה נאותות הכוללות יתירות (redundancy).

יש ארבעה מדדים חשובים לביטחון אנרגטי - זמינות, נגישות, כלכליות, וקיימות. נושאים אלה צריכים להיות מתואמים בכל מדינה. קיימים מספר מקורות לייצור חשמל, אבל כשמסתכלים על המערכת כולה יש גם תחבורה, וגם תעשייה, ואזרחים, וצריך להתייחס לשאלה איך כולם קשורים זה בזה. בין הגורמים המשפיעים על הסיכון המערכתי: כמה ספקים ישנם, כמה הם מגוונים, באילו אופנים ניתן לנייד את האנשים, מה המערכת הרגולטורית, וחשובה מאוד גם היציבות הפוליטית המקומית במדינה.

קיימים מספר איומים פוטנציאליים על ביטחון האנרגיה, ובמיוחד על מערכת החשמל. ניתן לחלקם למספר קטגוריות עיקריות: פעולות איבה (התקפת טילים/רקטות, חבלה), אסונות טבע, ותקיפות סייבר. הסיכון הראשון גדול בישראל יותר מאשר בשאר מדינות המערב, וכבר התנסו בכך, ומטבע הדברים ההערכות אליו צריכה להיות בהתאם. איומי הטבע משמעותיים בדיוק מכיוון שבישראל הם בדרך כלל פחותים בעצמתם מאשר בשאר המדינות המפותחות, ולכן המוכנות נמוכה. לגבי הסייבר – זהו נושא חדש בכל העולם, וכולם מנסים ללמוד כיצד להתמודד עמו.

לביטחון אנרגטי מספר הגדרות. הגדרת הסוכנות הבין-לאומית לאנרגיה (IEA) היא: זמינות בלתי מופרעת של אנרגיה במחיר סביר לכל השכבות באוכלוסייה. רוב הממשלות מתרכזות בביטחון אנרגיה לטווח הקצר. לעומת זאת, עבור ביטחון באנרגיה לטווח הרחוק מדובר בהשקעות ארוכות טווח בהתאם להתפתחויות הכלכליות הצפויות בעתיד ובהתאם לצרכים הסביבתיים שיהיו בעתיד. אי אפשר לדון בביטחון אנרגיה לטווח הרחוק מבלי להתייחס לקיימות. קיימות היא היכולת שלנו לספק את צרכינו בטווח הארוך בהתחשב בהשלכות הסביבתיות, כלומר, לדאוג לא רק לעצמנו היום אלא גם לבאים אחרינו, להשאיר מספיק משאבים ולא רק אשפה.

בדיוני הפורום התברר כי המוכנות של ישראל להתמודדות עם הסיכונים לאספקת אנרגיה אינה מלאה, אך המצב כנראה לא רע ביחס למדינות העולם המערבי. לעומת זאת, בניגוד לרוב העולם המערבי, עלינו יש אוסף גדול של איומים. חברת החשמל נערכה בצורה טובה להתמודדות עם רעידות אדמה. המוכנות לפגעי טבע אחרים, כגון שלג, שיטפונות וכדומה מוגבלת בין השאר ע"י בעיות נגישות הקשורות להיערכות רשויות מקומיות, כפי שראינו בחורפים האחרונים; אך גם ציפיות הציבור בעניין זה הן בלתי סבירות. קיימת מוכנות מסוימת להתקפות טילים וסייבר, אבל היא כנראה לא מלאה ביחס לפוטנציאל. אף כי חברת החשמל נערכת, משק החשמל בכללו פחות, במיוחד בעידן בו חלק מהייצור הינו פרטי.



התלות של המערכת הצבאית באספקת החשמל האזרחית היא קריטית, ועלולה להיות בעייתית במצבי חירום. התלות של המשק האזרחי בחשמל הולכת וגדלה, עם חישובול רכבת ישראל והרכבות הקלות הקיימות ואלה שבשלבי בניה.

ביטחון אנרגטי תלוי באופן מרכזי בקיומה ובהפעלתה של תפיסה מערכתית כוללת לגבי המרכיבים השונים של תשתית האנרגיה (מערכת החשמל, אספקת דלקים לתחבורה ולתעשייה, אגירה, הולכה ושינוע). תפיסה כזו אינה קיימת כיום בישראל, ומן הראוי שתגובש בהקדם.

### המלצות:

1. נדרשת שמירה על גיוון מקורות האנרגיה וגיוון מערכות הייצור, והכל בהתאם לתכנון מסודר, תוך התחשבות (אך לא כניעה) במרכיבים חברתיים, כלכליים וסביבתיים.
2. נדרשת אגירה אסטרטגית של מקורות האנרגיה – הדלקים למיניהם, ומערך הולכת דלקים הכולל יתירות מתאימה. בין השאר חשוב מאוד הגיבוי במערכת אספקת הגז הטבעי (נדרש מערך הפקה והספקה נוסף).
3. נדרשת יתירות ורזרבה מתאימה במערך הייצור ובמערך הולכת החשמל הארצי.
4. מומלץ לפתח את מערכת החשמל לכיוון של רשת חכמה (smart grid) : דו כיוונית עד קצה הדרך - צרכני המתח הנמוך.
5. מומלץ לקדם את רשת החשמל לכיוון של מיקרו-גרידים (microgrids) עצמאיים המקושרים זה לזה. מערכת כזו תאפשר מערך ייצור גמיש, דינמי, לפי אזורים, המאפשר שליטה מקומית לפי הצרכים, ושימוש באמצעי ייצור אנרגיה מגוונים.
6. מומלץ לפתח באופן מבוקר מקורות אנרגיה מקומיים ומתחדשים. כיום יש דגש רב מידי על הכלכליות, אך שכשמדובר בביטחון - הכלכלה הוא רק אחד המרכיבים. מקורות האנרגיה המתחדשת – שמש ורוח – מוסיפים חסינות למערך ייצור החשמל לצורך ביטחון האספקה מול איומים ביטחוניים, והביזור הטבעי של מתקני אנרגיה מתחדשת מקטין מאד את הסיכון לפגיעה מערכתית.
7. מומלץ להמשיך בשילוב ברשת של מתקני אגירה שאובה. יש לכך יתרון גדול באנרגיות מתחדשות גם כמשלים טבעי לטכנולוגיה וגם בגלל המוגנות הטבעית של המתקנים האלה, הקבורים עמוק בתוך ההר ולא חשופים לפגיעה קינטית.
8. יש להרחיב את הפעולות להתייעלות אנרגטית (ראה מקור 2). מומלץ לעודד ולהאיץ שימוש בתחבורה ציבורית ולהפסיק העידוד לנסיעה ברכב פרטי. מומלץ לעודד ולהאיץ בנייה משמרת אנרגיה, תוך שימוש בתקינה.
9. יש להקים מערך של ניהול ביקושים גמיש בזמן אמת. הדבר יתרום הן ליעילות מערך הייצור החשמל על ידי השטחת עקום הביקוש, והן להתמודדות רציפה במצבי משבר שלא באמצעות השלה, אלא ניהול הביקוש.

10. יש לוודא ולתרגל קיומם של מערכי טיפול במצבי קיצון שונים (מצבים מיוחדים) ברמת משק החשמל כולו: פיקוח, ייצור, הולכה וחלוקה של חשמל. חשוב שילוב הצרכנים עצמם בהיערכות. מטרת העל צריכה להיות הגעה למצב בו לקוחות הרשת יוכלו לקיים תפקוד מינימלי הכרחי עד שיגיע החילוץ.

11. מעל לכל דרושה מערכת ניהולית מתאימה - שתהיה רגולציה אחת מצד הממשלה. הרגולציה הזאת צריכה לבנות את כל הכלים, יחד עם גיבוי חקיקתי מתאים. אם וכאשר המדינה תיקח על עצמה את הניהול של מערכת החשמל בחירום, היא צריכה להקים מערך מתאים.

## פרק 1: הקדמה

מוסד שמואל נאמן לחקר מדיניות לאומית, במסגרת פעילותו בתחום האנרגיה, מקיים מפגשי "פורום אנרגיה" המוקדשים לדיון בנושאים בעלי חשיבות לאומית בתחום. בפורום האנרגיה מתקיים דיון ממוקד בנושאים מוגדרים, בהשתתפות צוות מומחים המוזמנים לפי הנושא. המטרה היא להתרכז בשאלות רלבנטיות ומוגדרות, לתאם בין הגורמים ולהגיע להמלצות על דרכי פעולה לקידום הנושא, שניתן להציגן בפני מקבלי החלטות.

המפגש הדרן בנושא: "ביטחון באספקת אנרגיה בישראל", התקיים ב-15 ליוני 2016 בטכניון. השתתפו בו מומחים בתחום מהיבטיו השונים, וכן נציגים של הממסד הממשלתי והציבורי. המשתתפים בפורום, שנבחרו בקפידה עקב מומחיותם, מהווים, ללא ספק, קבוצה ייחודית ובעלת ידע מקצועי ראשון במעלה בתחום אספקת אנרגיה, ובנושא הביטחון באספקה בפרט.

בחלקו הראשון של המפגש הציגו חלק מן המשתתפים מצגות בנושא הדיון על היבטיו השונים. מצגות המשתתפים אשר אושרו על ידם לפרסום נמצאות [באתר מוסד שמואל נאמן](#): (אירועים). בחלק השני התקיים דיון פתוח על המידע שהוצג ועל המסקנות האופרטיביות שיש להפיק ממנו. בפני משתתפי הדיון עמדו מספר שאלות, שהוכנו מראש, כמפורט בתכנית הפורום (נספח 1).

תמצית הדיונים מסוכמת בדו"ח להלן, וכמו בדיונים הקודמים, הוא יוגש למקבלי החלטות במטרה להביא אל סדר היום את מכלול השיקולים והפעולות הנדרשות על מנת לבחון את האפשרויות השונות לגבי ביטחון באספקת אנרגיה בישראל.

## פרק 2: רקע

בישראל, כמו במדינות רבות במערב, קיימת הבנה כי הביטחון הלאומי של המדינה תלוי במידה רבה בתפקוד נאות של התשתיות הלאומיות, וביניהן אספקה סדירה ובטוחה של אנרגיה לסוגיה השונים. מבין תשתיות האנרגיה הרגישה במיוחד היא מערכת החשמל, בה אי-אספקה עקב תקלה, חבלה או כל סיבה אחרת עלולה לגרום לקריסה של מערכות רבות, אזרחיות וצבאיות, התלויות בה. אי אספקה זמנית של מקורות אנרגיה אחרים, כגון דלקים לתחבורה ולתעשייה, פחות קריטית מבחינת המשק כל עוד איננה נמשכת זמן רב מידי, אך גם כאן על מדינה אחראית לדאוג למלאים מתאימים ולדרכי אספקה נאותות הכוללות יתירות (redundancy).

יש ארבעה מדדים חשובים לביטחון אנרגטי - זמינות, נגישות, כלכליות, וקיימות. נושאים אלה צריכים להיות מתואמים בכל מדינה. קיימים מספר מקורות לייצור חשמל, אבל כשמסתכלים על המערכת כולה יש גם תחבורה, וגם תעשייה, ואזרחים, וצריך להתייחס לשאלה איך כולם קשורים זה בזה. בין הגורמים המשפיעים על הסיכון המערכתי: כמה ספקים ישנם, כמה הם מגוונים, באילו אופנים ניתן לנייד את האנשים, מה המערכת הרגולטורית, וחשובה מאוד גם היציבות הפוליטית המקומית במדינה.

קיימים מספר איומים פוטנציאליים על ביטחון האנרגיה, ובמיוחד על מערכת החשמל. ניתן לחלקם למספר קטגוריות עיקריות: פעולות איבה (התקפת טילים/רקטות, חבלה), אסונות טבע, ותקיפות סייבר. הסיכון הראשון גדול בישראל יותר מאשר בשאר מדינות המערב, וכבר התנסו בכך, ומטבע הדברים ההערכות אליו צריכה להיות בהתאם. איומי הטבע משמעותיים בדיוק מכיוון שבישראל הם בדרך כלל פחותים בעצמתם מאשר בשאר המדינות המפותחות, ולכן המוכנות נמוכה. לגבי הסייבר – זהו נושא חדש בכל העולם, וכולם מנסים ללמוד כיצד להתמודד עמו.

לביטחון אנרגטי מספר הגדרות. הגדרת הסוכנות הבין-לאומית לאנרגיה (IEA) היא: זמינות בלתי מופרעת של אנרגיה במחיר סביר לכל השכבות באוכלוסייה. רוב הממשלות מתרכזות בביטחון אנרגיה לטווח הקצר. לעומת זאת, עבור ביטחון באנרגיה לטווח הרחוק מדובר בהשקעות ארוכות טווח בהתאם להתפתחויות הכלכליות הצפויות בעתיד ובהתאם לצרכים הסביבתיים שיהיו בעתיד. אי אפשר לדון בביטחון אנרגיה לטווח הרחוק מבלי להתייחס לקיימות. קיימות היא היכולת שלנו לספק את צרכינו בטווח הארוך בהתחשב בהשלכות הסביבתיות, כלומר, לדאוג לא רק לעצמנו היום אלא גם לבאים אחרינו, להשאיר מספיק משאבים ולא רק אשפה.

### פרק 3: מידע בנושא: ביטחון באספקת אנרגיה בישראל

בחלק זה של הדו"ח ניתנת תמצית המידע שהוצג ע"י חלק מן המשתתפים, כל אחד לפי בחירתו ומומחיותו. קבצי המצגות שהוכנו ע"י הדוברים מוצגים, כאמור, [באתר מוסד שמואל נאמן](#). מטבע הדברים, קיימת חפיפה מסוימת בין הדוברים השונים, אולם עורכי הדו"ח החליטו להביאם כאן כפי שהוצגו ובאותו הסדר (ראה תכנית הפרוסם בנספח 1). מידע זה חשוב ומהווה בחלקו בסיס לדיון הפתוח שהתקיים לאחר מכן, כפי שמובא בפרק 4.

#### ד"ר אברהם ארביב

#### ביטחון אנרגיה וקיימות

אנחנו עוסקים בביטחון אנרגטי, ולכך כמה הגדרות. לקחתי את ההגדרה של הסוכנות הבין-לאומית לאנרגיה (IEA) – זמינות בלתי מופרעת של אנרגיה במחיר סביר לכל השכבות באוכלוסייה. זה מתחלק לביטחון אנרגיה לטווח קצר וביטחון אנרגיה לטווח ארוך. רוב הממשלות מתרכזות בטווח הקצר. לעומת זאת, עבור ביטחון באנרגיה לטווח הרחוק מדובר בהשקעות ארוכות טווח בהתאם להתפתחויות הכלכליות הצפויות בעתיד ובהתאם לצרכים הסביבתיים שיהיו בעתיד. כאן הממשלה שלנו, ורוב הממשלות בעולם, כושלות, מכיוון שמלבד ניסיון לחזות את העתיד, מדובר גם על תוצאות שבאות לידי ביטוי לאחר סיום הקדנציה.

התיזה שלי היא שאי אפשר לדון בביטחון אנרגיה לטווח הרחוק בלי להתייחס לקיימות. קיימות הוא מושג שרובנו חושבים שאנחנו מבינים, אבל הוא מורכב וכולל כמה היבטים. לא אפרט הכול כאן, רק אציין שקיימות היא היכולת שלנו לספק את צרכינו בטווח הארוך בהתחשב בהשלכות הסביבתיות. כלומר, לדאוג לא רק לעצמנו היום אלא גם לבאים אחרינו, להשאיר מספיק משאבים ולא רק אשפה.

התחלת העיסוק בקיימות היא בתחום היעדרות. נראה כי השימוש הראשון במושג הוא בפרסום גרמני משנת 1713. לקיימות שני מרכיבים עיקריים: אופן ניצול אנרגיה וחומרים מהטבע, ואופן ההחזרה לטבע של תוצרי השימוש באנרגיה או בחומרים. כלומר, גם הזמינות וגם טיפול באשפה. מבחינה לשונית – אין לדבר על דברים בני קיימא, אלא רק על תהליכים בני קיימא.

לא ניתן לדבר על קיימות בלי להתייחס למושג התמ"ג (תוצר מקומי גלמי). הכלכלות שלנו משועבדות למושג הצמיחה, שעל פי ההגדרה היא הגידול בתמ"ג. רבים מסכימים שהתמ"ג הוא מדד די פגום של העושר, שלא לדבר על האושר, ועדיין ממשיכים להשתמש בו כי זה נוח. לתמ"ג יש קורלציה מאוד חזקה עם צריכת האנרגיה.

התזה שאני מציג היא שהמשבר הכלכלי הגלובלי הנוכחי מקורו ברצון של המדינות המפותחות לחיות מעבר ליכולתן, על-ידי ניצול-יתר של משאבים. אלה דברים שנאמרו ונכתבו כבר לפני שני עשורים, והיו אנשים שחזו את המשבר הכלכלי של 2008 (שעדיין נמצא אתנו, במידה רבה). יש הבדל בצריכת המשאבים (כולל אנרגיה) בין המדינות המפותחות והמדינות המתפתחות. המדינות המפותחות (ארה"ב, מערב אירופה, יפן, אוסטרליה, קנדה, וכו') כוללות בערך שישית מאוכלוסיית העולם, קצת יותר

ממיליארד אנשים מתוך למעלה מ-7 מיליארד בני אדם בעולם. הצריכה הממוצעת של אותם שישית בני אדם היא בערך פי 30 מזו של שאר העולם, אם לא יותר. עד אמצע המאה הזו יהיו על כדור הארץ יותר מ-9 מיליארד בני אדם ואם כולם יחיו כמו שאנחנו חיים במדינות העולם הראשון זה יהיה כאילו יחיו על כדור הארץ יותר מ-72 מיליארד בני אדם. אפילו אם רק חלקים גדולים של סין והודו ישיגו את הצריכה שלנו כיום, צריכת המשאבים הגלובאלית תהיה פי ארבעה מהנוכחית, ואין דרך שבה כדור הארץ יוכל לשאת קצב צריכה כזה.

קיים חשש אמיתי להתמוטטות חברתית. בגדול, הרעיון הוא שאנחנו חיים בעולם מורכב שמקדש את היעילות הכלכלית. היעילות הזאת גרמה לכך שהרבה שכבות שומן שהגנו עלינו נעלמו ונהיינו פחות חסונים, ומשברים עלולים להידרדר לאסונות. יחד עם זאת, אנחנו חיים בעולם מאוד מקושר מבחינה גלובאלית, ומשבר מקומי יכול להוביל להתמוטטות כוללת. לא חסרות סיבות למשברים מקומיים. אחת הסיבות שאני מנתח בדרך כלל קשורה למושג ה-EROEI (energy return on energy invested). יש אנשים שאומרים שיש מספיק גז ויש מספיק נפט ויש מספיק אנרגיה; אנשים לא יודעים שהאנרגיה שיש להשקיע כדי להשיג את אותה אנרגיה רק הולכת וגדלה. למשל בנפט, עלינו מ-1 ל-100, ל-1 ל-20. כלומר, צריכים להשקיע יחידת אנרגיה אחת כדי להפיק 20 יחידות. באופן דומה גם הגז. מדברים על גז מפצלים; גם אם זה אותו גז מבחינה כימית, יש לו מחיר אנרגטי וסביבתי שונה, ואין לראות אותו כמו הגז שמתקבל מקדיחה קונבנציונאלית. סיבות להתמוטטות לא חסרות, כולנו מכירים אותן: אידאולוגיה, גידול אוכלוסייה (כרגע הנושא הזה הוא טאבו, ברוב העולם), אי-שוויון, משאבים ואנרגיה, סביבה. כשמדברים על התמוטטות לא מתכוונים שהעולם יחרב; הכוונה לחזרה לרמת חיים נמוכה יותר מהרמה שלנו היום, במידה שכולנו נרגיש אותה. ובכן, זו התיזה בגדול: יצרנו עולם שנעשה יותר ויותר מקושר, מוסדר ויעיל, אך בה בעת פחות חסון וכתוצאה מכך צמיחה מתמדת אינה בת-קיימא וגובר הסיכוי לתגובה לא-לינארית של קריסה.

המסקנה היא שקצב הצריכה של מדינות העולם הראשון (אנחנו) חייב לרדת, ומאז שאני עוסק בנושא הזה (כבר 15 שנה) לא ראיתי תופעה אחת שסותרת את הדברים הנ"ל, כולל הירידה בצמיחה ובעיות סביבתיות לרוב. ישנו משפט שתרגמתי ממאמר מלפני 20 שנה: "אנשים בשנות העשרים המאוחרות שלהם במדינות העשירות עלולים להיות הדור הראשון ב-200 השנים האחרונות שרמת החיים שלו תהיה נמוכה מזו של הוריו". זה בדיוק מה שקורה. כלומר, הציוויליזציה שלנו היא משחק פירמידה. אנחנו עדים להרבה משחקי פירמידה היום מכל תחומי המשק וברור שמשחק פירמידה לא יכול להימשך, ואם אנחנו מתכננים ביטחון באנרגיה, שהוא חלק מהביטחון הכללי, אסור להתעלם מהנושא הזה. הציוויליזציה היא לעשות יותר עם פחות משאבים.

יש כמה מכשירי מדיניות שמסתדרים עם התפיסה הזו שאנחנו חייבים לקדם. פה ושם מקדמים, אבל לא בלב שלם, זה לא מספיק, חייבים להאיץ את זה:

- בנייה משמרת אנרגיה;
  - רשת חשמל חכמה – גם מבוזרת, גם דו-כיוונית, וגם כוללת אגירה – זה מרכיב חיוני לחוסן אנרגטי;
  - הסתמכות על מקורות אנרגיה מקומיים ומתחדשים: כולם מדברים על זה אבל יש יותר מדי דגש על הכלכליות, ואני תמיד מדגיש שכשמדובר בביטחון הכלכלה הוא רק אחד מהמרכיבים; לפעמים צריך לעשות דברים שלא מסתדרים עם הכלכלה של היום כדי לדאוג לחוסן בעתיד;
  - תחבורה ציבורית והפסקת העידוד לנסיעה ברכב פרטי. גם על זה כולם מדברים, אבל בארץ האידיאל שאליו רוצים לדמות הוא בעיקר מדינות כמו ארה"ב ולא מדינות כמו הולנד.
- יש גם לקחים נוספים. יש לתת את הדעת על גידול האוכלוסייה, ויש מדינות שמעודדות גידול אוכלוסייה. פערי ההכנסות והקיטוב הכלכלי הם בעיה קיומית - גם זו בעיה של קיימות. בנוסף חייבים לטפח תרבות של מניעת בזבז – אלה דברים שאף פוליטיקאי לא נוגע בהם.
- אסיים עם הציטוט:

“Anyone who believes exponential growth can go on forever in a finite world, is either a madman or an economist”: *Kenneth Boulding (economist, educator, poet, religious mystic, devoted Quaker, systems scientist and interdisciplinary philosopher) (1910-1993)*

ושוב אדגיש – אי אפשר להתייחס לביטחון אנרגיה לטווח ארוך בלי להתייחס לנושא הקיימות.

## ד"ר דן וינשטוק

### ביטחון מערכת החשמל בישראל – הצעה לאסטרטגיה רבתי

קיים גוף שאני מניח שרובכם שמעתם עליו: "המכון למחקרי ביטחון לאומי", נמצא בתל אביב, עומד בראשו האלוף במיל' עמוס ידלון, וכשמו כן הוא. מטבע הדברים הוא אוכלס ביוצאי המערכות הביטחוניות, אבל בערך לפני שלוש שנים הגוף הזה הגיע למסקנה שבעצם הביטחון הלאומי נשען במידה רבה גם על החוסן האזרחי. לכן הקימו יחידה שעוסקת בנושאים האזרחיים; עומד בראשה תת אלוף במיל' מאיר אלרון, יש לו ניסיון רב, תפקידו האחרון היה סגן ראש אמ"ן תחת רב אלוף אמנון ליפקין שחק ז"ל. הבעיה היא שהם מומחים לעניינים אזרחיים ולכן בנושאים האלה הם נשענים על פְּרִילְנֶסְרִים. העבודה הראשונה הייתה בנושא החשמל. כולנו מבינים שזו כנראה התשתית האזרחית החשובה ביותר ותת אלוף אלרון ואנוכי עשינו עבודה יחד עם אנשים נוספים וקיבלנו הרבה תגובות, ביניהן של פרופ' אלכסנדרוביץ שנמצא אתנו כאן ומאוד עזרה לנו, וגם של אחרים.

אני רוצה להתמקד בארבעה נושאים :

1. האיומים העיקריים שאנחנו זיהינו על מערכת החשמל (כמובן שיש עוד);
2. איזה מענה יש היום, אם בכלל, לאיומים האלה;
3. מה המשמעויות העיקריות;
4. ומה אנחנו ממליצים.

זיהינו ארבע קטגוריות עיקריות של איומים על מערכת החשמל :

- התקפות קינטיות של טילים ורקטות.
- אסונות טבע: זה כולל גם אסונות גדולים ואפוקליפטיים כמו רעידות אדמה וצונאמי וכו', אבל בתנאים של ישראל גם דברים שלא נתפסים במקומות מתוקנים כאסון טבע עלולים לגרום לאסון כשלא נערכים. למשל - שלג שמעורר גיחוך אצל השוודי הממוצע גורם ל-50 אלף בני אדם להיות בלי חשמל שלושה ימים.
- תקיפות סייבר: אני חושב שאין כאן אחד שלא שמע את יו"ר חברת החשמל מדבר על כמות פנטסטית של תקיפות של מערכת החשמל. גם של תשתיות אחרות.
- פולס אלקטרו-מגנטי (EMP) – פחות מוכר אבל אם זה יקרה זה עלול להיות מאוד טרגי.

כשאנחנו מסתכלים על הקטגוריות הנ"ל אני חושב שאפשר להסכים שהתקפות קינטיות הן בוודאי מעשה ידי אדם. אסונות טבע - על פניו נגרמים על ידי הטבע, אבל אני חושב שרבים כאן יסכימו שהאדם האיץ במידה רבה את האפשרות שאסונות כאלה יפגעו בו. סייבר - הוא ללא ספק מעשה ידי אדם. פולס אלקטרו-מגנטי יכול להיות משהו מכוון. למשל, לפני מספר שנים איראן עשתה ניסוי והטיסה טיל לחלל שהתפוצץ לאחר כ-30 קילומטר. בהתחלה שרותי הביטחון של המערב חשבו שמדובר בכישלון, אבל מאוחר יותר התבהר שלא היה כישלון אלא הצלחה גדולה; הוא התפוצץ בדיוק בגובה הנכון כדי לחולל נזק מהסוג שאולי EMP יכול לחולל. אבל יכול גם להיות ל-EMP מקור טבעי מהתפרצויות מהשמש. בפעם המשמעותית האחרונה זה קרה ב-1859 ואז כמעט לא הייתה תשתית חשמלית בכדור הארץ; כבלי טלגרף היו - וחלקם נפגעו. מאז היו התפרצויות קטנות יותר שהשפיעו בעיקר באזור הקטבים.

עכשיו אכנס מעט לפרטים :

**התקפות קינטיות של טילים ורקטות** - אני חושב שכולם יסכימו שזה איום מידי וגדול. כבר שנים רבות יש לאויבי ישראל היכולת לשגר. העניין הוא שהדיוק הולך וגובר. כמובן, רוב הטיילים שבידיהם עדיין לא מדויקים אבל האחוז של המדויקים הולך ועולה, ואנחנו צריכים להניח שאם ירצו - ישגרו, ואם ישגרו גם יפגעו, ויפגעו באופן די מדויק, גם בתחנות כוח, תחנות מיתוג, תחנות משנה ומתקני גז טבעי. כמובן שתהיה לזה השפעה מאוד משמעותית על מערכת החשמל.



**סייבר** - אין לי הרבה מה לחדש, ואני גם לא מומחה גדול בתחום. אני רק רוצה לספר סיפור קטן מעברי, שאולי חלקכם מכיר. עבדתי פעם ב-Better Place והיה אז רצון להקים עמדת טעינה, כלומר שקע חשמלי בשטח ציבורי. זו הייתה חברה פרטית ואסור היה לה להקים. ביקשנו מחברת החשמל, חיכינו, וזה לא קרה. חברת החשמל בכל זאת עשתה דברים קצת יותר מסובכים מלהתקין שקע. התעניינו לדעת מה קורה ומסתבר שהשב"כ לא מאשר (חברת החשמל היא חברה מונחית שב"כ). השב"כ היה מודאג מן העובדה שמדובר בסוג של תשתית חשמלית, אמנם לא רצינית, אבל בגלל דרישות של משרד התשתיות צריכה להיות מחוברת לכל מיני תשתיות של DATA, ורצו לבחון לעומק שאין אפשרות לגורם עוין להיכנס משם ולהשתלט. אני לא אומר שמשקע של מכונית חשמלית אפשר להשתלט על מערכת החשמל; אני רק רוצה להצביע על המגמה שהעובדה שהמערכות נעשות יותר משוכללות ויותר מתוחכמות, הן כמובן בעלות הרבה אספקטים חיוביים, אבל זה גם מגביר את האפשרויות השונות לתקיפה. ובהקשר הזה אני גם רוצה להוסיף בנוגע לאנרגיה חכמה, ואין לי ספק שאלעד שביב יתייחס לנושא הזה - על כל היתרונות הרבים שיש ברשת חכמה, היא נושאת בחובה גם הגברה של הפוטנציאל לתקיפות. צריך לקחת את זה בחשבון, אבל לא להיבהל.

**אסונות טבע** - האיום הזה מיוחד מהאחרים בכך שיכול לפגוע במידה רבה גם במערכת החלוקה. אני גר ברעננה. עד החורף האחרון הייתי בטוח שאני גר בשכונת יוקרה ברעננה אבל הסתבר לי שאני גר ברחוב הארגזים פינת ג'באליה בעקבות כמה עצים שנפלו.

האם ישראל מוכנה? יש לי שתי בשורות. המוכנות של ישראל לא מלאה, רחוקה מזה. אבל אני חייב להגיד שביחס לעולם (ואני מכיר את המצב בעולם המערבי, בעיקר בארה"ב ובאנגליה), מצבנו לא רע.

רעידות אדמה – אני חייב לציין לשבח את חברת החשמל. היא לקחה את הנושא הזה ברצינות לפני הרבה שנים ונערכה בצורה סבירה. שוב, אם יהיה רעש אדמה עוצמתי הכול ייחרב, אבל תחת תרחישי ייחוס מתקבלים על הדעת – המרכיבים העיקריים של מערכת החשמל ישרדו ויוכלו להמשיך לעבוד, בעיקר הודות להערכות המצוינת של חברת החשמל.

לגבי אסונות טבע אחרים, אין באמת מוכנות. כשאומרים צונאמי זה נשמע מוזר, חושבים שהאיום קיים רק באוקיאנוסים הגדולים ולא בים התיכון. האמת היא ש-25% מהמקרים המתועדים של צונאמי בהיסטוריה קרו בים התיכון. ואני לא צריך לספר לכם איפה רוב האוכלוסייה ותחנות הכוח בישראל ממוקמות.

**התקפות טילים וסייבר** – אי אפשר להגיד שאין מוכנות. יש מוכנות, אבל היא כנראה לא מלאה ביחס לפוטנציאל.

**EMP** - לפולס האלקטרו-מגנטי, בין אם באופן טבעי או מכוונת זדון, יכולה להיות השפעה, בעיקר על שנאים גדולים בתחנות המיתוג ובתחנות המשנה. אני מניח שאנשים מחברת החשמל יתייחסו לזה בהמשך. יש אמצעים להתגונן. אני חושב שכבר יש תכנית שמתחילה להתבשל, אבל צריך גם לממש אותה. שוב, מטבע הדברים, זה די מובן, זה איום שעוד לא קרה לכן אנחנו לא יכולים לטעון שאנחנו לא

מוכנים. כן ניתן להגיד שאנחנו לא מוכנים במובן שלא ננקטו עדיין פעולות מעשיות, אבל יש ידע, ויש התחלת הערכות בהחלט, אולי יפרטו על זה בהמשך.

אני חושב שאין ויכוח על כך שהתלות של המערכת האזרחית והצבאית באספקת חשמל סדירה היא קריטית. הייתי כ-10 שנים בחיל האוויר; באחד מתפקידי הייתי מפקד אגף מערכות בתל נוף, הבסיס הגדול ביותר של חיל האוויר, אחראי על הגנת שמי המדינה. הייתי אז סרן צעיר, ואני לא אשכח איך בעקבות שורה של תקלות הבסיס נשאר ללא חשמל. מפקד הבסיס אז, שבימים כתיקונם אינו מדבר עם סרן, עמד לידי ושאל אותי תוך כמה זמן יהיה חשמל. נתתי את מיטב הערכתי שעמדה על בערך שש שעות. ואז בנוכחותי הוא התקשר למפקד חיל האוויר והודיע לו שהבסיס לא מתפקד ושיעביר את האחריות על הגנת שמי המדינה לבסיס אחר. אותי זה הכה בהלם, איך בעקבות שורה של תקלות ממש בנאליות בסיס שלם שאחראי על הגנת שמי המדינה נשאר בלי חשמל.

בנוסף, ישראלים הם מאוד מפונקים בחשמל; הם לא יכולים לסבול להיות בלי חשמל יותר מ-45 דקות. המשק מאוד תלוי בחשמל. ולא רק בחשמל, אלא גם בנגזרותיו; למשל, מה קורה במט"ש (מכון טיהור שפכים) כשאין חשמל? תוך כמה זמן הביוב עולה גדותיו וגורם לכל מיני תחלואות? או תחבורה, שעד לפני חמש שנים כלל לא הייתה תלויה בחשמל, אבל הרכבת הקלה בירושלים מונעת בחשמל, בתל אביב קיים חשש כבד שעוד שש שנים תתחיל לעבוד מערכת של רכבים חשמליים, וכן הלאה. בקיצור, בעתיד גם התחבורה תהיה תלויה בחשמל.

המשמעויות – עם כל הכבוד להערכות לא רעה של חברת החשמל וגורמים כאלו ואחרים, פה דרושה הערכות לאומית. כאן נכנסת התרומה שלנו, של המכון למחקרי ביטחון לאומי. היכולת שלנו לקחת מחקר, לשים אותו על השולחן של ראש הממשלה או שר הביטחון או הרמטכ"ל. קשה לי להאמין שימצאו את הזמן לקרוא בעיון את הכול, אבל אולי יקראו את התקציר וידרשו ממישהו לעשות משהו. זה חשוב, כי היום ראש הממשלה, שיש לו כמה מטלות על הראש, לא מצליח להגיע לדבר הזה.

אמנם אמרתי קודם שמצבנו יחסית לעולם המערבי לא רע, אבל בניגוד לרוב העולם המערבי, עלינו יש אוסף גדול של איומים. אין צורך להרחיב לגבי האיומים הצבאיים, אבל איומי הטבע משמעותיים בדיוק מכיוון שאנחנו גרים באזור שבדרך כלל אין בו אסונות טבע. לכן המוכנות נמוכה.

המנכ"לים האחרונים של חברת החשמל, וזה הגיע לשיא עם המנכ"ל האחרון, אמרו למשרד התשתיות שהם מצפים שיתחיל לנהל את העניינים והם יהיו לשירותו. הם יודעים שהם שחקן חשוב אבל הם לא השחקן היחיד. שיגיד מה לעשות והם יעשו. הם לא מנהלים יותר את הנושא הזה בחירום. אמרו וזרקו את זה על השולחן של משרד התשתיות; עם כל הכבוד (אני בעצמי יוצא המשרד) אין לו מושג מה לעשות עם המטלה הזאת כרגע.

צריך להעמיק את המודעות לבעיית הביטחון של רשת החשמל בישראל. ד"ר אברהם ארביב הזכיר קודם את נושא ה-resilience (עמידות), אולי נדבר על זה עוד בהמשך. המשמעות היא לא רק להסתכל איך נערכים לבעיה אלא גם איך יוצאים ממנה מהר. זה לא אומר בהכרח לפתור את הכול, אבל מספיק כדי לעמוד על הרגליים.

לא בנו את העולם ביום אחד אבל כן צריך להתחיל לגבש תכנית ארוכת טווח. דיברתי על הנושא של הרשות העליונה לכוח, אותה רשות שבעבר הייתה באחריות חברת החשמל ועכשיו נזרקה אל משרד התשתיות. אני במקרה יועץ של המשרד בנושא הזה ואני יכול להגיד לכם שיש התחלה של עבודה אבל לפני 2025 הם לא יהיו מוכנים. משרד התשתיות לא יכול היום לנהל את מערכת החשמל. הוא אפילו לא במצב שהוא מקבל את כל המידע ומסוגל להעביר תמצית בהירה לשר ולממשלה, אז בוודאי שלא לנהל.

אנרגיות מתחדשות – אנחנו חושבים שהרחבת השימוש באנרגיות מתחדשות תניב תרומה חיובית לנושא הזה, בכמה מובנים:

ראשית, כדי לפגוע במתקן חשמל לא חייבים לפגוע במתקן עצמו אלא בתשתית הדלק שמובילה אליו. הזכרנו קודם את הפגיעה בתשתיות הגז – זה ישאיר חלק עצום מן המערכת בלי חשמל. אבל אם יש מתקן שפועל על שמש או רוח – אני עוד לא מכיר אחד שהצליח לעצור את השמש או את הרוח.

שנית, הביזור הטבעי של המתקנים האלה. אם יש כמות קטנה של תחנות כוח ניתן לפגוע במאמץ אולי לא גדול מדי באחוז ניכר מהם, כולל תחנות משנה. אבל אם יש פיזור עצום של תחנות סולאריות יהיה קשה יותר לפגוע באחוז ניכר, וגם אם פוגעים באחת (וזה קרה במבצע "צוק איתן") אז מתוך 400,000 פנלים נפגעו 1000; זה לא סוף העולם. לעומת זאת, פגיעה ברכיב בודד בתחנות כוח (בודד או בגנרטור וכו') משבית את התחנה.

אגירה שאובה (דיברנו על זה באחד המפגשים הקודמים של הפורום<sup>1</sup>) - מוקמים היום מתקנים בהיקף של כ-800 מגה-וואט. על הכמות הזאת הוחלט כאשר ההיקף הכולל של המערכת היה בערך 10,000 מגה-וואט, היום הוא בערך 14,000 מגה-וואט. יש לזה יתרון גדול באנרגיות מתחדשות גם כמשלים טבעי לטכנולוגיה וגם בגלל המוגנות הטבעית של המתקנים האלה. הם קבורים עמוק בתוך ההר ולא חשופים לפגיעה קינטית.

ההמלצה אולי הכי חשובה בעיני היא שילוב הצרכנים עצמם בהערכות. היום רוב צרכני החשמל חושבים, לא ברור על בסיס מה, שאיכשהו החשמל יחזור אליהם. האמת היא שהם צריכים לקחת את גורלם בידם במידה מסוימת. סיפור קצר – הייתי בכנס בווישינגטון והיה שם מנכ"ל חברת חשמל PJM בעלת עשרות מיליוני לקוחות; אצלו לא יורים טילים עדיין אבל יש להם אסונות טבע ואתגרים לא פשוטים. הוא סיפר על אנשים שהיו בלי חשמל מספר ימים; הלקוח האחרון חזר לקבל חשמל רק אחרי שבועיים, וזה גרם לבעיות סוציאליות חמורות. הוא אומר שהיה רוצה להגיע לכל הלקוחות תוך יומיים, אבל זה כנראה בלתי אפשרי, לכן פנה אל הקהל וביקש שיתנו לו כלים כלשהם כדי שיוכל לתת לאותם לקוחות שהבשר לא יתקלקל להם במקרה, או אפילו כדי שיידעו מה קורה כי בלי חשמל לא הייתה להם תקשורת. הוא מוכן להשקיע את הכסף בפתרון טכנולוגי, כלומר - שהצרכנים יוכלו לעזור לעצמם.

---

<sup>1</sup> פורום אנרגיה 35: אגירת אנרגיה בייצור חשמל

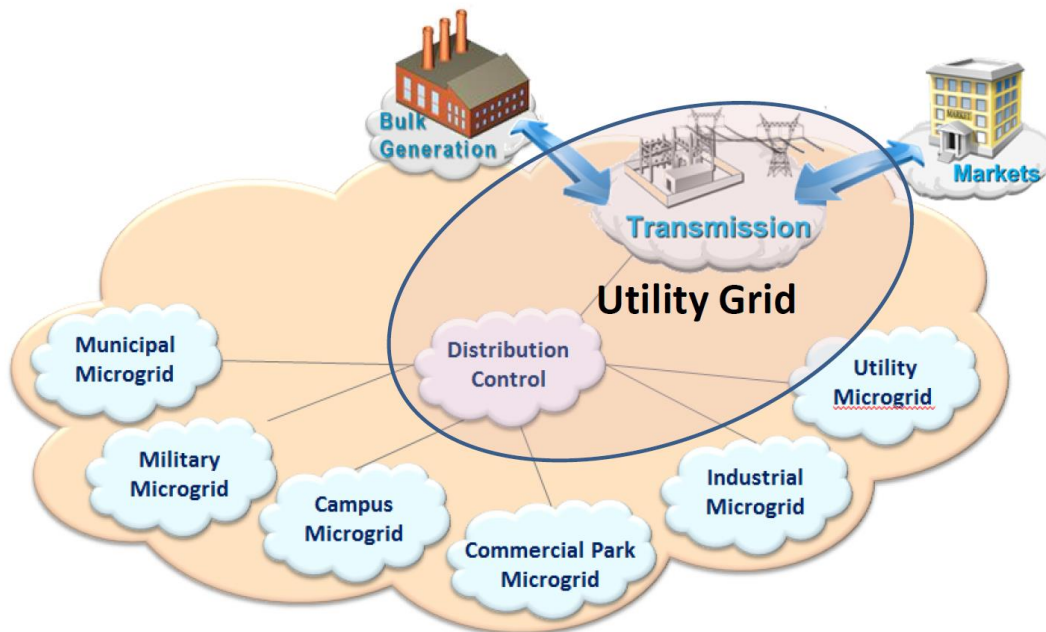
מטרת העל צריכה להיות הגעה למצב בו לקוחות הרשת יוכלו לקיים תפקוד מינימלי הכרחי עד שיגיע החילוץ. בישראל אני לא חושב שזה ייקח שבועיים, אבל גם חמישה ימים זה מספיק חמור.

בנושא של EMP הבשורה טובה וצריך השקעה של כמה עשרות מיליוני דולרים – לא מדובר במשהו בלתי נסבל וזה עשוי להציל אותנו מקטסטרופה. אני לא אומר שצריך להטמין את כל הרשתות; לדעתי זו אמירה פופוליסטית, אבל אני כן חושב שבשיקולים של הטמנת רשתות, לצד פגיעה נופית מצד אחד ועלויות מצד שני, צריכים גם להיכנס שיקולי שרידות. איפה שהטמנת הרשת יכולה לתרום לשרידות, והעלות מתקבלת על הדעת, צריך לקחת את זה בחשבון.

## אלעד שביב

### מיקרו-גריד וחיבורו לביטחון אנרגטי

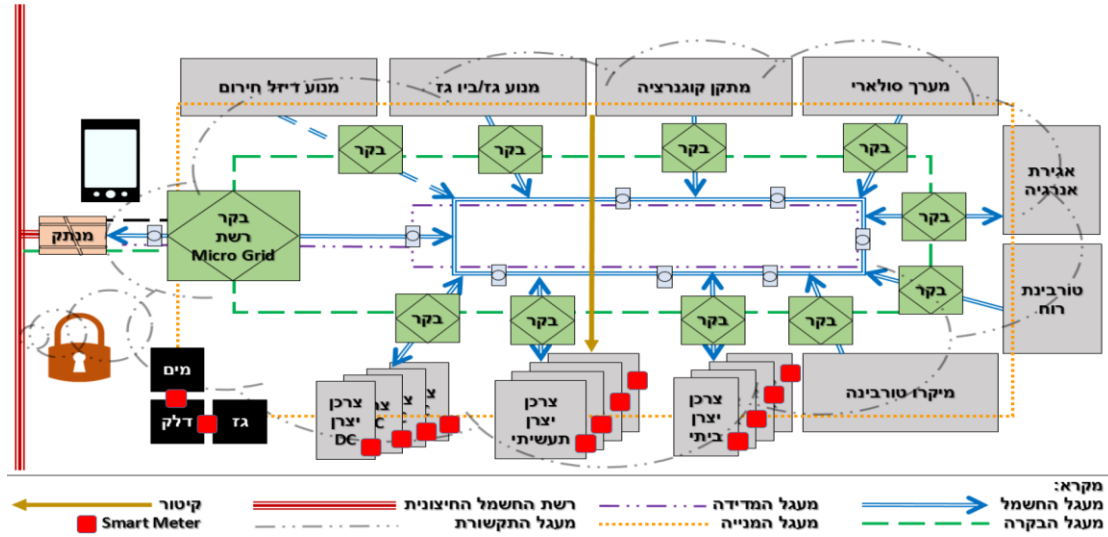
מה שנאמר עד כה מתחבר במידה רבה לדברים שאני רוצה לתאר – הנושא של מיקרו-גריד (microgrid). אני מציג כאן תפיסה שהיא פופולרית למדי לגבי איך יראה עולם החשמל; אני יודע תוך כמה זמן מהיום, אבל בעתיד. מיקרו-גרידים כפי שמתואר באיור, הם בעצם רשתות מקומיות.



איור 1 – סכמה של מערכות מיקרו-גריד

הרעיון הכללי הוא רשתות חשמל אוטונומיות המסוגלות לנהל את עצמן הן מבחינת הייצור והן מבחינת הצריכה. הן יכולות להיות פרוסות ברמה העירונית או ברמת הקמפוס וכו', מחוברות בצורה מאוד הדומה לרשתות ה-IT או התקשוב היום לאיזשהו ענף. זה לא אומר שחברות חשמל או שה-grid עצמו יעלם, אלא שכולם מנתבים את החשמל לענף הזה, ובמקרה של פגיעה באיזשהו מקום, כל אחד יכול להמשיך לעבוד בפני עצמו, כאי.

אם נתסכל על דוגמה של מיקרו-גרید (איור 2), יש בו אמצעי הייצור, אם זה דיזל, גז, קוגנרציה, סולארי, וכו'; מאוד רצוי שיהיה איזשהו אלמנט של אגירת אנרגיה, אם כי זה לא מחויב המציאות; ויש גם כל הצרכנים. מה שחשוב פה הוא שבנוסף לחיבורים חשמליים בין כולם יש גם חיבורים של DATA בין כולם. חיבורי ה-DATA האלה מאפשרים בקרה, תקשור, שיתוף משאבים, ועבודה שהיא מנותקת מהרשת במקרה וקרנתה תקלה מחוץ למיקרו-גרید. לא אפרט יותר מזה כרגע.



איור 2 - דוגמה למערכת מיקרו-גרید

מהן התועלות של מיקרו-גרید ואיך זה קשור לביטחון?

קודם כל מבחינת תועלות – שמירה על אספקת חשמל בטוחה ואמינה, עמידה בעומסים קריטיים, עם יכולת פעולה במנותק מרשת החשמל הארצית אם יש בעיה ברשת ההולכה מכל סיבה שהיא. למשל, בהקשר לדבריו של ד"ר דן וינשטוק – נאמר שמפגע לא יתקיף שנאי חלוקה; אני עסקתי בנושא של ביטחון יותר מ-10 שנים, ובאחת ההרצאות הכי מדהימות ששמעתי שאלו שלושה אנשים מובילים בתחום מה תהיה מתקפת יום הדין? שניים דיברו על מתקפה שבה משמידים את כל תשתית התקשור וכו', אבל השלישי, שנתן הרצאה שבסופה לא מחאו לו כפיים אלא נשארו בהלם, אמר שמתקפת יום הדין תהיה מתקפה על איזשהו שנאי חלוקה קטן, אולי בצפון קרוליינה, במקום זניח יחסית, ואותה מתקפה תכניס את כל העולם לאמוק. הוא הביא דוגמה ממתקפת האנתרקס שהייתה פעם. הוא היה יועץ ביטחון לאומי בארה"ב. הוא אומר שזימנו אותו והרבה אחרים וכל העולם דיבר על זה, ובסופו של דבר, אמנם מתו כשלושה אנשים אבל הבהלה הציבורית של התקפות דווקא על הדברים הקטנים יכולה להפיל את הכול.

בחזרה לתועלות: לא מדובר בהכרח על אספקה מלאה של חשמל במקרה חירום, אבל אספקה מינימלית, כפי שנאמר קודם. לכן צריך להחליט קודם כל מהו העומס הקריטי בכל מקום, ולהכניס אותו בצורה דינאמית ולוודא שיש לו חשמל.

מעבר לזה, המסר החיובי בכל נושא המיקרו-גריד הוא שבניגוד לרוב המערכות שאנחנו מדברים עליהן בתחום הביטחון, יש כאן בעצם חיסכון בעלויות הולכת חשמל, אופטימיזציה של מקורות ייצור, ניהול צריכה ברמת צרכנים בודדים שמאפשרים התייעלות אנרגטית, ושיפור תחזוקתיות; כך שבסופו של דבר אנחנו מרוויחים מהמיקרו-גרידים, והנושא הביטחוני מגיע כפועל יוצא שלו.

אם מסתכלים על הגורמים העיקריים שיכולים לגרום היום להפסקות חשמל – גורם ראשון הוא צריכת יתר שאנחנו נתקלים בה בדרך כלל בקיץ.

חבלות – זה יכול להיות מסוג סייבר, אבל גם כתוצאה מטעות אנוש, וככל שהמערכות יהיו יותר מתוחכמות הסיכויים ללא ספק הולכים וגדלים.

תקלות במתקני ייצור – נכון שהם חסינים במידה מסוימת להתקפות זדוניות, אבל יכולות להיות תקלות, ולתקלה אחת במתקן ייצור גדול תהיה השפעה מאוד גדולה.

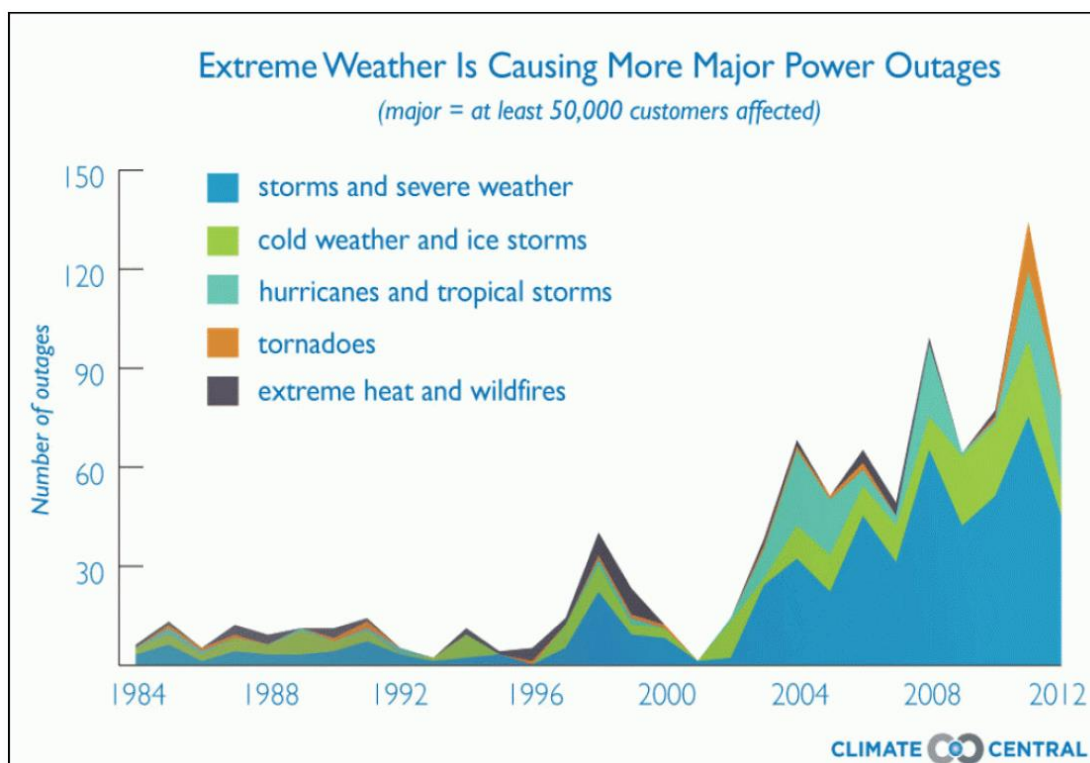
תקלות כתוצאה מתנודתיות באמצעי הייצור – ככל שנכניס יותר ויותר אמצעים מתחדשים, יהיו יותר ויותר בעיות מהסוג הזה.

כל הנושאים הנ"ל אינם ייחודיים לישראל; מה שכן ייחודי לישראל ומאוד חשוב הוא הפגיעה במערכת ההולכה וניתוק הצפון מהמרכז והדרום. אין לנו איזון בין כמות הצריכה וכמות הייצור בין הצפון לדרום.

**פרופ' אברהם אלכסנדרוביץ:** יש שיטות לטפל בכך. אפשר לנתק חלק מהצרכנים כך שהאיזון יישמר.

**אלעד שביב:** מהנתונים שאני מכיר מחברת החשמל יש חוסר איזון מאוד גדול. זאת במיוחד עם המעבר ההדרגתי לדרום עם הבסיסים החדשים. זה דבר מאוד חשוב; תקלה רצינית במקום הזה, לפי הבנתי, יכולה להיות בעיה של יותר ממספר ימים.

הגרף באיור 33 מראה איך במשך השנים התקלות בעקבות מזג אוויר קיצוני הולכות וגוברות באופן חד משמעי.



### איור 3 - קריסת מערכות חשמל כתוצאה ממפגעי מזג אוויר במשך השנים

מבחינת שרידות המערכת – אחת הבעיות שיש לנו בארץ היא שכל מערכי החירום שלנו בסופו של דבר מתבססים על מערכת החשמל הרגילה. כלומר, אנחנו נמצאים במצב שבו מערך חירום בעצם מסתמך על מערך אזרחי. על פי חוק – במצב חירום לצבא מותר לקחת את כל הגנרטורים שהוא מוצא, אבל הדברים האלה לוקחים זמן. אם נסתכל היום על כל המערכים האלה, יש שינוי אסטרטגי במהלך ה-10 עד 15 שנים האחרונות: אם קודם בשביל מערכי החירום עיקר הצורך היה לשמור מספיק דיזל (אם מדובר על צבא) בשביל כמה מערכים, בעיקר התנייעות של כוחות צבאיים גדולים - היום יש התבססות מאוד חשובה על חשמל. ניתן כמובן לשמור דיזל בשביל גנרטורים אבל בלי חשמל כל התקשוב לא עובד, ובלי תקשוב שום דבר לא עובד, לא משנה על איזו מערכת מדובר. זו תפיסה שרק היום מתחילים להבין אותה בכל העולם, בייחוד במערכות הביטחוניות.

פעם אם היה מחסור בחשמל היו אומרים: לא נורא, תעבדו בלי מיזוג אוויר. היום אם אין מיזוג אוויר במערכת השרתים הצבא משותק. כלומר, יש לנו תלות מוחלטת של מערכות החירום במערכת החשמל האזרחית. בנוסף, במצבי חירום עשויים להיות קונפליקטים בין צרכים של המדינה או דרישות של מערכת החשמל האזרחית, לבין צרכים קריטיים של מערכות קריטיות בפני עצמן. למשל, האם להחזיר חשמל לכמה שכונות או להעביר יותר חשמל למחנה צבאי. זה מערך שדורש שליטה מאוד קשה בין גופים שונים במדינה, בוודאי בין כל גופי החירום למיניהם, אבל גם בין גופים אזרחיים; אחד תלוי בשני.

יש כיום מערכות גיבוי אנרגיה. אם מנותק החשמל לבית החולים אנשים לא ינותקו ממערכות ההחייאה. אבל היום רוב מערכות הגיבוי מאוד יקרות ולכן השימוש בהן מאוד מוגבל. בנוסף יש תלות במצבורי סולר. הן לא גמישות לשינויים דינמיים. כלומר, היום ההסתכלות היא על כל אלמנט בפני עצמו. אם ניקח בית חולים או בסיס צבאי, מחליטים שאלמנטים מסוימים צריכים גיבוי, ובאותו מקום ישימו גיבוי ולעיתים גם גיבוי כפול – מאוד יקר. והיה ובמקרה החירום לא צריך את כל החשמל, או שהגיבוי הסתבר כמיותר – הוצאנו המון כספים ואין אפשרות לשנות את זה. וזה בדרך כלל מיועד לתפקוד לזמן קצר; והיה ותהיה לנו בעיה של שבוע או שבועיים אנחנו נהיה בבעיה מאוד רצינית.

לאן אנחנו רוצים להגיע?

- **קודם כל - להפרדת ניהול הסיכונים של צרכי אנרגיה למתקני חירום ממערכת החשמל האזרחית - ואז אנחנו יודעים שבכל מקום אנחנו מנהלים בנפרד.**
  - **מערכות שליטה דינמית** – כמו שהסברתי קודם, שנוכל לשנות לפי הצרכים בכל מקום, בין השאר גם לקחת ממקום אחד למקום אחר.
  - **מערך ייצור גמיש, דינמי, לפי אזורים, המאפשר שליטה מקומית לפי הצרכים.**
  - **שימוש באמצעי ייצור אנרגיה מגוונים** – כאשר החשיבות היא לא לעבור רק לאנרגיות מתחדשות, אבל גם לא רק לסולר.
- בנושאים אלה אנחנו דנים בכל מיני פורומים. משרד הביטחון גם הוא מסתכל על הנושאים האלה. התחלנו בארץ להתקדם כפי שאני מניח שרובכם מכירים. אסקור בקצרה מה כן קרה:
- **היה פיילוט של חח"י למונים חכמים בבנימינה.**
  - **חח"י יצאו כבר להרחבת התקנות מונים חכמים** – אני חושב שכבר הייתה הגשה למכרז.
  - **משרד התשתיות הוציא RFI** על כל הנושאים של מיקרו-גריד (בראשות גדעון פרידמן) לפני קצת יותר משנה.
  - **מענק למחקר על יישום מערכות מיקרו-גריד בישראל** המובל על ידי המרכז הבין תחומי בהרצליה ביחד עם האיגוד לאנרגיה חכמה.
  - **מענק להקמת מתקן חלוץ של מיקרו-גריד בקיבוץ מעלה גלבוע.** התכנון כבר הסתיים, החלו ההתקנות.
  - **במשרד הביטחון יש עכשיו בניית מתודולוגיה למיקרו-גריד לבסיסים חכמים בדרום.**
  - **תחום האנרגיה החכמה הוכלל בהחלטת הממשלה לצמצום פליטות.**



- יש עכשיו הרבה בקשות מבעלי עניין (רשויות מקומיות, ערים, וכו') שרוצים לראות איך ניתן להקים מיקרו-גריד בשטחים שלהם, מכל הסיבות שפירטתי קודם – כלומר גם ביטחון אנרגטי, גם צמצום פליטות, וגם עלויות.

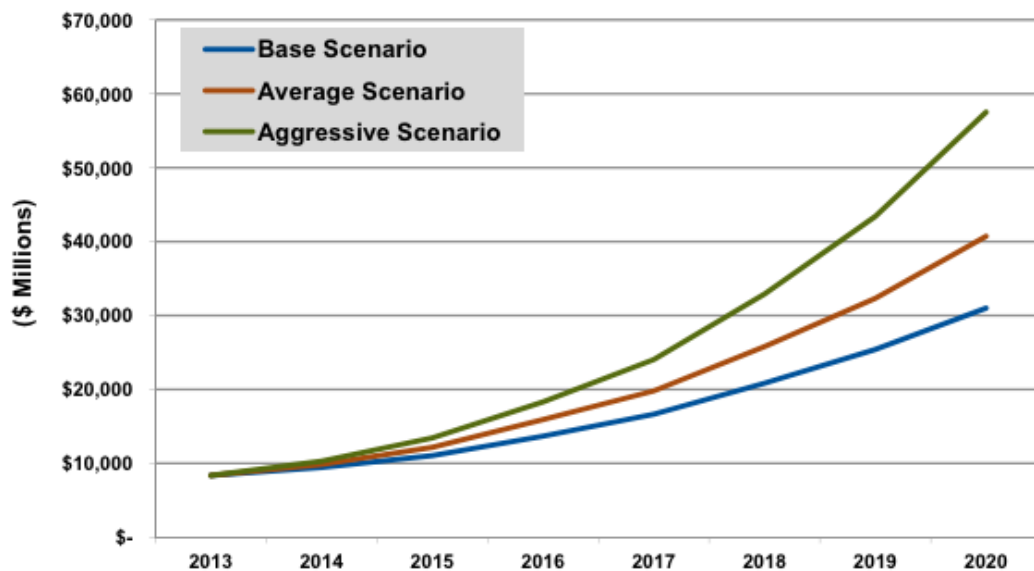
המעצור העיקרי הוא רגולטורי. יש עדין מקומות רבים, כגון בתוך אוניברסיטאות או מתקנים שהם מאחורי המונה, ששם אפשר לעשות זאת ללא הבעיה הרגולטורית.

איור 44 בא רק כדי לסבר את העין. כמות התקנות מיקרו-גריד בעולם הוא נושא שעולה באופן מאוד ברור. אין ברשותי הגרף המחודש של Navigant אבל בדרך כלל, לפי מה שאני מכיר, כשיש תחזית של השוק הוא בדרך כלל צומח יותר לאט ממה שציפו; כאן הם שיחררו תיקון כי בעצם זה צמח יותר מהר ממה שצפו.

**פרופ' אופירה אילון:** כתושבת בנימינה אני חייבת להעיר – אין כלום בפיילוט בבנימינה. יש לנו מונים חכמים; קיבלתי במשך חצי שנה חשבון חשמל על סמך הערכות בלבד כי לא יכלו לקרוא את המונים שלי.

**אלעד שביב:** אני לא אהיה סנגור של הפיילוט בבנימינה. דבר חשוב אחד כן קרה בעקבות הפיילוט הזה – ייצאו עכשיו למכרז הנוסף. היו שלבים שהיה צריך לעבור – עברנו את השלב הזה ואנחנו בשלב הבא.

**פרופ' אופירה אילון:** אם זה היה בשביל ללמוד – זה בסדר. אבל בתור תושבת, אני מרגישה חייבת להדגיש שאין שם כלום. עם המונים שישנם האזרח אפילו לא יכול לוודא שחייבו אותו נכון.



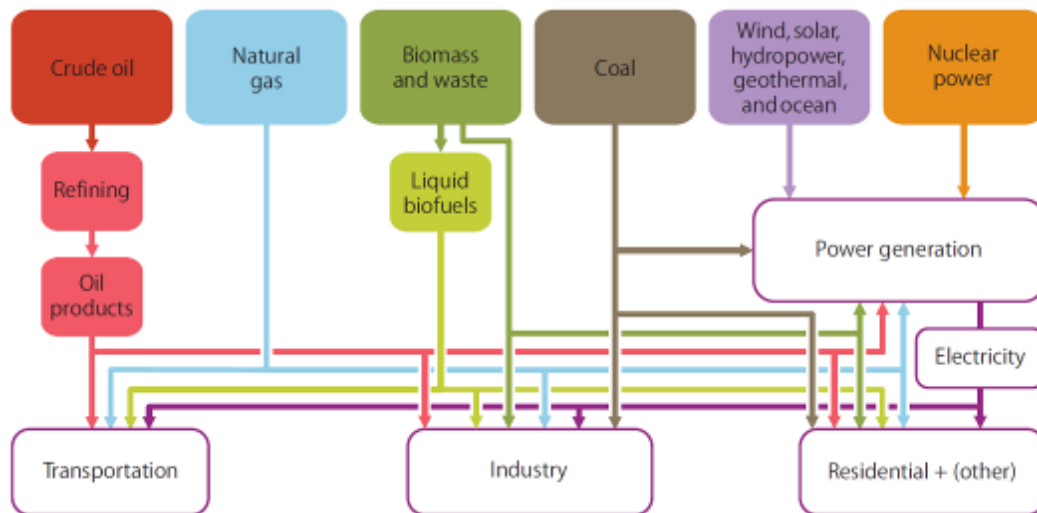
איור 4 - צפי לרווחי מיקרוגריד בעולם (מקור: Navigant Research)

ד"ר מרים לב-און

## Natural Gas Security: Policy and Emergency Measures in Select OECD Countries

תודה למרצים הקודמים. נגעתם בחלק גדול מהנושאים שאני רוצה לדבר עליהם. אני אסתכל על זה מפרספקטיבה יותר גלובאלית, של ה-International Energy Agency (IEA), עם דגש על אבטחת אספקה של גז טבעי שחשובה במיוחד לישראל.

בתחילת העיסוק בנושא של ביטחון אנרגטי לפני שנים דיברו על שלושה היבטים – כלכליות, נגישות ואמינות. ההגדרה הורחבה בשנים האחרונות (כפי שדי"ר אברהם ארביב הסביר). אם נסתכל על מערכת הגורמים לסיכון במערכות האנרגיה (איור 5) יש לפנינו מספר מקורות לייצור חשמל, אבל כשמסתכלים על המערכת כולה יש גם תחבורה, וגם תעשייה, ואזרחים, וצריך להתייחס לשאלה איך הכול קשור. בין הגורמים המשפיעים על הסיכון המערכתי: כמה ספקים ישנם, וכמה הם מגוונים, ובאילו אופנים ניתן לנייד את האנשים, מה המערכת הרגולטורית, וגם חשובה מאוד היציבות הפוליטית המקומית במדינה.

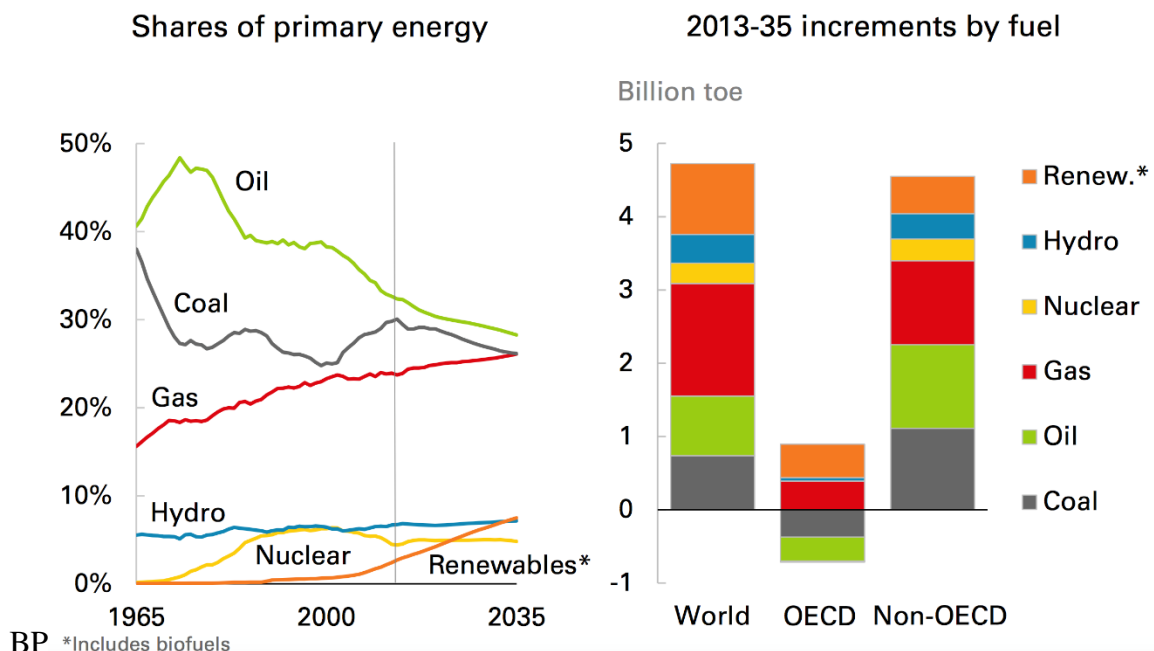


איור 5 - גורמים המשפיעים על סיכון במערכת אנרגיה (IEA MOSES working paper 2011)

אם נסתכל על הצפי לשינוי בתמהיל הדלקים ל-2016 (איור 66) על פי הסטטיסטיקה של British Petroleum (BP), נראה ירידה בשימוש בנפט ופחם, עליה בגז, הידרו ללא שינוי ניכר, גרעינית עוד לא ברור (יש אמירות על התעוררות מחדש של התחום הזה), וכמובן - אנרגיות מתחדשות בעליה. ניתן לראות את הנתחים השונים מבחינה אנרגטית בעולם – מה היה ב-1994 עד 2014 ומה הצפי ל-20 השנים הבאות. הגז והאנרגיות המתחדשות עולים בחשיבותם (בשימוש הכלל עולמי). באופן כללי יש ירידה בצריכה. אחד הדברים שרציתי להגיד, בניגוד למה שדי"ר אברהם ארביב אמר, יש היום בעולם, ביחוד במדינות המתפתחות, הפרדה בין התמ"ג לבין צריכת האנרגיה. כלומר, יש מגמה של עליה בתמ"ג עם ירידה בצריכת האנרגיה.

די"ר אברהם ארביב: זה לא בניגוד למה שאמרתי.

ד"ר מרים לב-און: בסטטיסטיקות העולמיות ה-IEA מראה שלא היה שינוי בצריכת האנרגיה בשלוש השנים האחרונות למרות שהייתה עליה באוכלוסייה והתמ"ג בעולם.



איור 6 - 2016 Energy Outlook

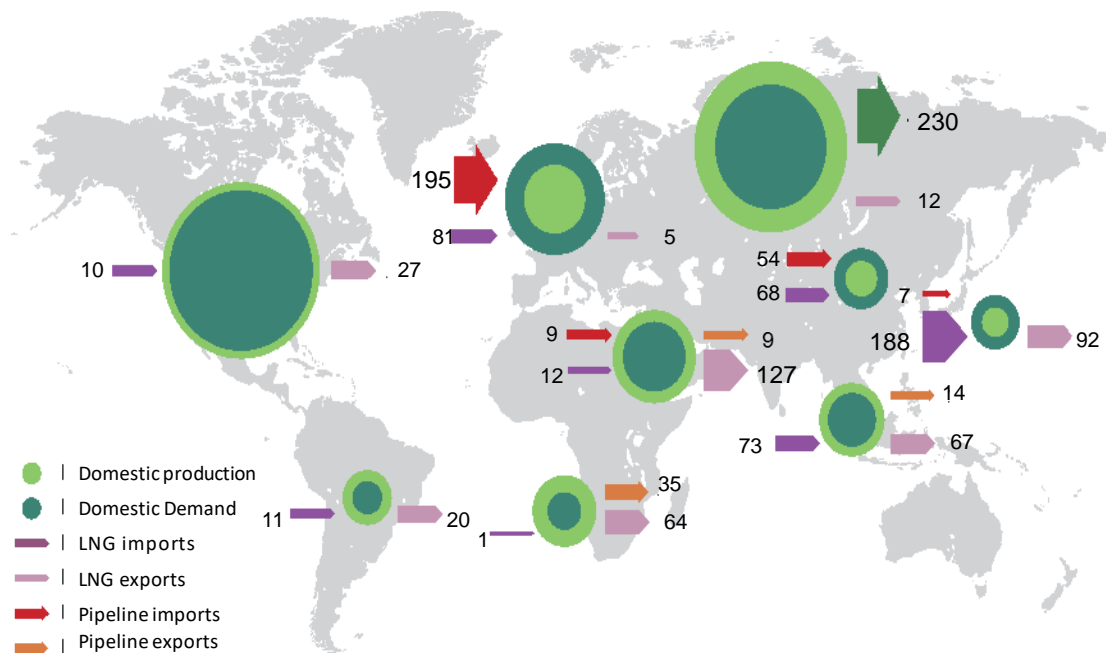
<http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2016/bp-energy-outlook-2016.pdf>

מה התפקיד של גז טבעי בעולם מבחינת היציבות האנרגטית?

קודם כל, סך כל הגז במדינות ה-IEA שהן בדרך כלל גם מדינות ה-OECD, גדל מ-19% בשנת 1973 ל-26% בשנת 2012, וממשיך לצמוח. כמובן שאנו רואים שהרבה מאוד מייצור החשמל בעולם (וגם בישראל) עובר לגז, כאשר באירופה השימוש בגז לייצור חשמל עלה מ-6% בשנת 1990 ל-24% בשנת 2012. רבע מכל השימוש בגז באירופה הוא לצורך חימום בתים ישירות.

הגלובליזציה של שוק הגז גדלה גם בגלל צנרת מפותחת וענפה יותר שמובילה גז למרחקים בקני מידה יבשתיים (כמו מרוסיה לאירופה), וגם בגלל הזמינות. יש צפי שיהיה יותר ויותר מסחר בגז טבעי מנוזל בין השנים 2012 ו-2018. מכיוון שיש יותר ויותר קשרים בין האזורים השונים בעולם יש יותר סיכויים שבעיות באספקת הגז יגרמו לבעיות גלובליות.

איור 77 מציג תוצאות מודל של המצב בעולם. הירוק הבהיר הוא הייצור המקומי והירוק הכהה הוא הוא הצריכה. למשל, ברוסיה יש עודף גדול של ייצור לעומת צריכה, ובאזורים כמו אירופה הייצור קטן מהצריכה – לא אתעכב על זה כעת.



איור 7- Inter-regional Anticipated Natural Gas Trade by 2018 (bcm)

IEA, Medium-Term Gas Market Report, OECD/IEA, Paris, 2013

כשמסתכלים ספציפית על אספקה של גז ומה הם האמצעים שיש לנקוט בהם כדי להבטיח את האספקה צריך לחשוב על מספר נושאים. קודם כל, היכולת לספק גז טבעי מוגבלת ע"י הצנרת או הקיבולת של המתקנים שישנם. אחרי ההפקה והעיבוד הראשוני של הגז, כשמגיעים למצב של החלוקה, צוואר הבקבוק הוא התשתית. וכמובן, שכשיש בעיות בצנרת הגז זה מאוד יקר לתקן ומצריך ידע וזמן כי הצנרת היא בלחצים מאוד גבוהים.

כשמבצעים תכנונים בנוגע לאספקת גז צריך להתחשב בנושאים כמו מזג האוויר, אסונות טבע (או ידי אדם), וגם בעיות של אספקה שנובעות מחוזים; למשל, כמו מה שקרה בין ישראל למצרים שפתאום החוזה נגמר והפסיקו להזרים גז, או שרוסייה הפסיקה להזרים לאירופה בגלל סכסוך עם אוקראינה.

מה ניתן לעשות כדי להבטיח את אספקת הגז?

קודם כל יש צורך באפשרות לאגור את הגז. יש דרכים שונות, למשל אגירה תת קרקעית (קשה לפתח, לא מתאים לכל מקום), או באמצעות ניזול. זה אחד הדברים שדיברנו עליהם בפורום האנרגיה בנושא אגירה<sup>2</sup> – הזכרתי שבארה"ב יש את ה-Peaking plans, כלומר כ-10% מהגז המופק נשמר בשדה למקרה הצורך.

<sup>2</sup> פורום אנרגיה 35: אגירת אנרגיה בייצור חשמל

אני רוצה להציג כאן ממצאים של ה-IEA שהעלויות המשתנות כדי לשמור מספיק גז ל-90 יום נעות בין 10%-ל-20% מהעלות של המתקן לשנה – יש לקחת את זה בחשבון בתכנונים.

אירופה עושה ארבעה דברים בנוגע לאסטרטגית הגז :

- תקנות מיוחדות כדי להבטיח את האספקה.
- קידום הסכמים בנוגע לגז בין המדינות השונות באירופה.
- אסטרטגיה לאחסון גז מנוזל.
- הסרת חסמים להכנסת אנרגיות מתחדשות, בעיקר לבתים ולתעשייה.

האירופאים גם יצרו מושג המהווה אינדיקטור לביטחון בגז, שנקרא NI, שאומר שמדינות חייבות להיות מסוגלת לספק גז שווה ערך ל-30 ימים של פעילות בתים פרטיים ושירותים חיוניים אחרים כמו בתי חולים. זה הקריטריון לכל התוכניות הלאומיות שהם עושים, והם דורשים מכל המדינות ליצור תכניות לפעולות מניעה כדי להבטיח שכולם עומדים לפחות בסטנדרט הזה.

בינתיים כל מדינות אירופה תלויות מאוד בייבוא חוץ מלבד דנמרק והולנד שהן יצרניות וספקיות של גז למדינות אחרות. זה הצפי גם עד 2030.

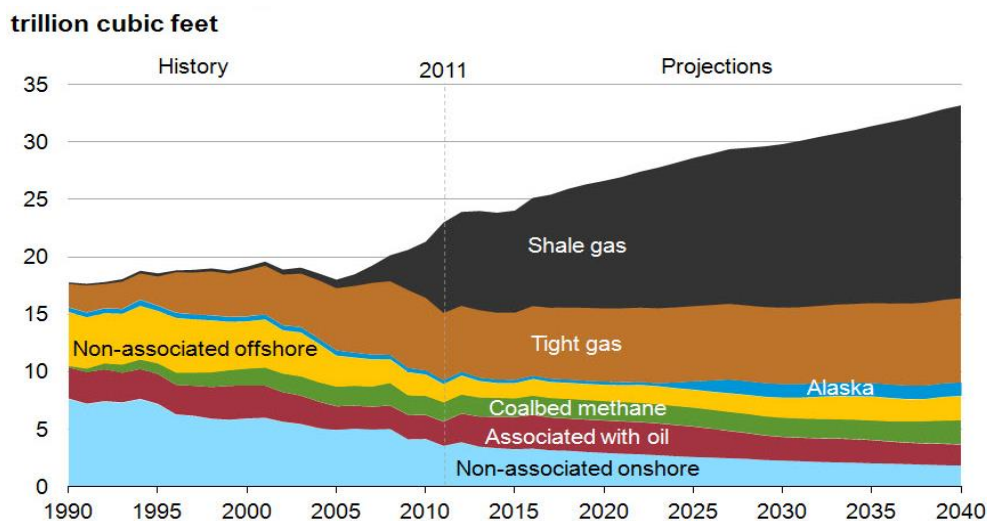
**ד"ר יהודה ניב:** וגם נורבגיה. לפי נתוני מינהל המידע של משרד האנרגיה האמריקאי נורבגיה מספקת כ-21% מכלל צריכת הגז הטבעי באירופה. הגז טבעי של נורבגיה מגיע ליבשת בעיקר באמצעות תשתית ענפה של צנרת ייעודית עבור יצוא הגז הטבעי, בעוד שחלק קטן מיוצא באמצעות מכליות של גז טבעי נוזלי (LNG). המדינות שהיו הצרכניות העיקריות של הגז הטבעי אשר יוצא מנורבגיה ב-2013 היו בריטניה, גרמניה, צרפת, הולנד, בלגיה ואיטליה.

**ד"ר מרים לב-און:** נכון. נעבור לארה"ב. ישנה אסטרטגיה לאומית שנקראת "All-of-the-Above", כלומר לבחור בכל האפשרויות. זה התחיל מיוזמה של הבית הלבן ועכשיו זה נידון בקונגרס. הסנט העביר כבר את החקיקה של האסטרטגיה האנרגטית החדשה, ועכשיו זה עובר לבית הנבחרים. זה כולל ארבעה אלמנטים :

1. להפחית את התלות ביבוא של נפט.
2. לייצר יותר נפט וגז טבעי בתוך ארה"ב באופן בטוח ואחראי, כולל תקנות חדשות.
3. לפתח את הטכנולוגיות של לכידת דו-תחמוצת הפחמן והטמנתו.
4. לפתח דלקים נקיים.

**איור 8** מתאר את עליית הפקת הגז בארה"ב. אתייחס רגע למינוחים – בארה"ב לא משתמשים היום במילים שהשתמשו פעם: conventional/unconventional gas. היום יש associated gas שזה גז שבא כתוצאה מייצור נפט, ויש non-associated gas, שאנחנו קוראים לו 'גז טבעי', כמו באסדת תמר. ניתן

לראות שהגידול המשמעותי ביותר הוא ב-Shale gas וב-Tight gas שמגיע משדות בעלי חדירות מאוד נמוכה, וצריך לסדוק אותם כדי להפיק מהם את הגז.



איור 8 - כמות הגז הטבעי היבש<sup>3</sup> המופק בארה"ב ממקורות שונים. מקור:

*U.S Energy Information Administration, Annual Energy Outlook 2013 Early Release*

באלסקה, מאז שהתחילו לייצר נפט, כל הגז שהופק הוטמן באדמה ויש שם מצבורים זמינים היום לאספקה לארה"ב.

יש צפי לעליה גדולה מאוד בייצור הגז וכבר היום הגז בארה"ב, כידוע לכם, הוא מאוד זול.

ב-2013 הנשיא הוציא Presidential policy directive 21 – National Infrastructure Protection והעיקרון המנחה הוא שצריך להיות תאום בין כל הגופים, הממשל והמגזר התעשייתי והפרטי בכדי ליישם את זה. עכשיו חלק מהחקיקה עושה את דרכה בקונגרס האמריקאי.

אתן לכם דוגמא למה שקורה אפילו כשישנן הכוונות הכי טובות לאגור גז. בוודאי קראתם בעיתונים על Aliso Canyon באזור לוס אנג'לס (אנחנו גרים לידו). זה מאגר ענק של גז טבעי, הכי גדול בדרום קליפורניה, יש בו 115 בארות בהן ניתן להטמין או לשאוב גז. קרתה תקלה באוקטובר 2015 שגרמה לפריצה של אחת מהבארות הישנות (משנת 1953) והתחילו לבנות באר אלטרנטיבית, אבל זה לקח חמישה חודשים עד שסיימו את הבניה והצליחו להפסיק את הדליפה. בינתיים 90,000 טון של מתאן השתחררו לאטמוספירה - אובדן של לפחות 19 מיליון דולר רק על הגז עצמו, לא כולל התיקונים

<sup>3</sup> הפקת גז טבעי יבש – התהליך של הפקה ועיבוד הגז הטבעי להולכה ללקוחות. כמות הגז הטבעי היבש היא כמות הגז המופק ברוטו פחות אובדני גז בתהליך ההפקה (כולל הזרקה חוזרת למאגר), נישוב או בעירה בלפיד, וכן אובדנים כתוצאה מהפרדת התעבית או הסרת מזהמים.

והפיצויים לכל האזרחים באזור שנאלצו לעזוב את בתיהם לתקופה של חודשים. היום רק חמישית מהמאגר הזה ממולא ויש סכנה גדולה שלא יהיה מספיק גז בדרום קליפורניה לקיץ הקרוב (בקליפורניה אסור לייצר חשמל מפחם, ואסור גם לייבא חשמל שמיוצר מפחם במדינות אחרות). יש צפי שבלוס אנג'לס יהיו 14 ימים ללא מספיק גז בקיץ (ו-32 במשך השנה כולה) וחברת החשמל תאלץ לעשות הפסקות חשמל ספוראדיות.

לסיכום – יש ארבעה מדדים חשובים בבטיחות אנרגטית - זמינות, נגישות, כלכליות, וקבילות (כלומר כפי שדי"ר אברהם ארביב הסביר, הקיימות וההשפעה הסביבתית). הדברים האלו צריכים להיות מתואמים בכל מדינה וזה קשור במערך הממסדי של כל מדינה.

## פרק 4: דיון

לאחר מצגות המשתתפים התקיים דיון פתוח על המידע שהוצג, ועל המסקנות האופרטיביות שיש להפיק ממנו. על מנת למקד את הדיון, הוצגו מראש מספר שאלות כדלקמן:

- מה יכולה וצריכה הממשלה לעשות לאבטחת אספקת האנרגיה בישראל?
- מה ידוע על תכניות מסוג זה בעולם ומה ניתן ללמוד מכך לגבי ישראל?
- בעולם בו צפויה חדירה משמעותית הולכת וגדלה של מתקני הפקת חשמל באנרגיות מתחדשות תנודתיות לרשת החשמל, מה צריכה להיות האסטרטגיה שתבטיח ביטחון באספקת האנרגיה למשק הישראלי?

דברי המשתתפים מובאים כאן בסדר בו נשמעו וללא עריכה, לאחר שעברו ביקורת ע"י אומריהם.

**ד"ר פרי לב-און:** אני רוצה להתייחס להרצאה הראשונה של ד"ר אברהם ארביב. הדעה שלי קצת שונה. אני אדם מאוד חיובי. חקרתי הרבה את הנושא של קיימות, למעשה עשיתי דוקטורט בתחום הזה כך שאני מכיר היטב את הנושא הזה ובזמנו היה אדם שכולכם הכרתם, שלא הצליח כל כך כפוליטיקאי, קוראים לו אל גור – הוא לא הצליח להיבחר לנשיאות ארה"ב - אז קנה את עולמו בקבלת פרס נובל ואוסקר על הצגת מבט מאוד שחור על עתיד העולם. אותי זה הרתיח, מפני שמבחינה מעשית העולם הוא הרבה יותר אדפטיבי מזה. העובדה היא שאם היינו הולכים לפי התורה של אל גור – שאם לא משנים הכול, מהר, באופן דרסטי, "תוך 10 שנים" העולם הופך למשהו אחר ולא מוכר. שטויות.

**ד"ר אברהם ארביב:** זה לא מה שהוא אמר. הוא אמר שהמצב יהיה בלתי הפיך.

**ד"ר פרי לב-און:** בבקשה. המצב הוא הפיך. ואנחנו רואים גם שזה לא כזה איום ונורא.

**ד"ר אברהם ארביב:** מוקדם מדי לשפוט. הוא דיבר על אמצע המאה הזאת.

**ד"ר פרי לב-און:** אבל העולם עושה דברים בינתיים.

**ד"ר אברהם ארביב:** אני לא רואה מספיק פעילות.

**ד"ר פרי לב-און:** היינו בוועידת פריז וראינו מה נעשה בכל מיני מקומות לשינוי האקלים. הרבה נעשה בארה"ב – אנחנו גרים שם ורואים. אני לא אומר לרגע שהמצב טוב ואפשר להרפות, אבל המצב הוא לא כל כך נורא וגם לא בלתי הפיך. ניתן לראות את רמת הפיתוח ומגמת ההתקדמות בתחום האנרגיות המתחדשות.

יש כאן בהחלט מצב רציני, אבל לא צריך להיות כל כך פסימיים. עם כל הכבוד, ד"ר אברהם ארביב, אתה הצגת מצגת נהדרת, אבל אתה רואה את המצב יותר שחור ממה שהוא באמת.

**ד"ר אברהם ארביב:** אני ניסיתי להסביר שקיים מגוון אתגרים, זה לא רק אפקט החממה, זה גם אספקה, גם הידרדרות סביבתית מקומית – המצב לא טוב.



**ד"ר פרי לב-און:** אבל זה משתנה.

**ד"ר אברהם ארביב:** מה משתנה? תראה בארה"ב - על מה מדברים המועמדים לנשיאות ואיזה יחס יש לזה בקונגרס. אני לא רואה את השינוי. ארה"ב אמורה להוביל. קורה בדיוק ההפך.

**ד"ר מרים לב-און:** ארה"ב דווקא מובילה. למשל, הראיתי את העלייה בהפקת גז. אמנם יש אנשים שלא אוהבים את זה כי זו עליה בדלקים פוסיליים, אבל זה אפיק להתייעלות והפחתה בפליטות...

**ד"ר אברהם ארביב:** זה דלקים פוסיליים אבל זה לא אותם הדלקים הפוסיליים. כפי שאמרתי קודם, זה אותו הרכב כימי, אבל בעלות אנרגטית הרבה יותר גדולה. לא נוכל להרשות לעצמנו. האנרגיה הולכת ונעשית הרבה יותר יקרה. קיימות זה גם אספקה וגם השפעות סביבתיות (לא רק אפקט החממה). כתמונה כוללת, בעצם המשבר שאנו נמצאים בו היום, אנחנו לא מתקדמים לשום דבר. העולם יפיק יותר ויותר דלקים ממקורות מפוקפקים. פתאום לארה"ב יש משאב שנקרא פצלי גז שאף אחד לא יודע בדיוק למה הוא גורם מתחת לאדמה, וכנראה לא רוצים לדעת. האירופאים אסרו על זה, האמריקאים עוד לא. לא יתייחסו לזה עד שלא יהיו חייבים. זה לא אותו גז.

**ד"ר מרים לב-און:** זה בדיוק אותו גז.

**ד"ר אברהם ארביב:** זה אותו  $CH_4$  אבל זה לא אותו הגז.

**ד"ר פרי לב-און:** זה אותו הגז בשיטת הפקה אחרת.

**ד"ר אברהם ארביב:** צריך להשקיע עבודה הרבה יותר אנרגיה. אנחנו נגיע למצב שנאלץ להשקיע כמעט אותה אנרגיה שניתן להפיק וזה בדיוק חוסר קיימות – אי אפשר להמשיך כך. ורואים את זה בכל תחום, בתחבורה...

**ד"ר מרים לב-און:** אני עבדתי לפני שנים רבות ב-BP, עבדתי בתעשיית הגז בארה"ב במשך 15 שנה - אני מתמצאת קצת בתחום. הגז שמופק הוא אותו גז. השיטה של ההפקה, Hydraulic Fracturing (או Fracking בקיצור), הומצאה ב-1940 – זו לא שיטה חדשה, פשוט היום במאגרים שיש בהם פחות חדירות מוכרחים לעשות את הסידוק הזה כדי לאפשר לגז לצאת.

**ד"ר אברהם ארביב:** כי הגז "הטוב" נגמר.

**ד"ר מרים לב-און:** זה אותו הגז.

**פרופ' גרשון גרוסמן:** אני חושב שאתה מתכוון שהגז ה"טוב" זה גז שפורץ לבד, לעומת גז שמפיקים באמצעות fracking שמצריך השקעה של אנרגיה ומים.

**ד"ר מרים לב-און:** זה לא בדיוק כך. הגז לא יושב במאגרים במעין קיבולת בין הסלעים, אפילו הגז ה"טוב" לא. הגז נמצא בסלע, השאלה אם יש לאותו סלע חדירות גבוהה (קראו לזה פעם גז קונבנציונאלי) או נמוכה. למאגרי הגז שמוצאים כיום, למשל ב-tight sands, יש חדירות מאוד נמוכה ולכן צריך לעשות סידוק כדי להגביר את החדירות. כמובן שיש בזה יותר השקעה של אנרגיה, אין ספק בזה. וצריך להשקיע בטכנולוגיות שונות כדי למזער את ההשפעה השלילית, גם על האטמוספירה וגם זיהום מי תהום. אבל זה ניתן לעשייה וזה נעשה. זה גרם להתעוררות מחדש בתעשייה האמריקאית.

**ד"ר יהודה ניב:** בעולם הקוריוזים – ב-1974 שמעתי הרצאה במכון ויצמן של פרופ' ישראל דוסטרובסקי. הוא ניבא אז שכל הדלק הפוסילי העולמי יגמר תוך 15 שנה, ב-1990, ולכן אנחנו חייבים לעבור לשימוש באנרגיה גרעינית. הוא טען כי במקום לשרוף את הנפט צריך להשתמש בו רק לעשיית מוצרי פלסטיק. כידוע, אנחנו עברנו את 1990...

**ד"ר מרים לב-און:** יש יותר עתודות.

**פרופ' אברהם אלכסנדרוביץ:** אני רוצה לומר כמה מילים בנושא של חשמל. מערכת הספק צריכה לספק את ההספק (אנרגיה) לצרכנים בתנאים הבאים: שהתדר יהיה כמעט קבוע, 49.8 עד 50.01 הרץ, והמתח בגבולות של פלוס מינוס 5 עד 10 אחוז מהנקוב. אלו התנאים של עבודה תקינה של המערכת.

נשאלת השאלה – האם תמיד ניתן להבטיח שהמערכת תעבוד בתנאים הני"ל? אם הצריכה עולה על האספקה – מה צריך לקרות? איך יתכן שתמיד כשאנחנו מפעילים עומס נוסף הוא תמיד יקבל חשמל? למרות שרגע לפני כן היה איזון בין האספקה לצריכה? במקרה זה – כאשר הצריכה גוברת על הייצור הדרוש, מקבלים את ההספק הנוסף מהאנרגיה הקינטית האגורה בחלקים המסתובבים של הטורבינה והגנרטור, וכתוצאה מכך המהירות יורדת, ולכן יורד התדר. אסור שהתדר ירד מתחת לגבול התחתון המותר, לכן צריכים לספק אנרגיה מתוספת קיטור לטורבינה או ממקור אחר. יש ווסתים שמבקרים את כמות הקיטור שנכנס לטורבינה כדי להחזיר את (המהירות) התדר לערך הרצוי. יכול להיות מצב שאין מקור אנרגיה נוסף. מה יקרה במקרה הזה? התדר יתחיל לרדת וישנה סכנה שברגע שירד מתחת ל-48.2 הרץ הגנה תנתק את הגנרטור מהרשת כדי למנוע פגיעה בציוד.

ברגע שהמערכת לא מסוגלת לספק את ההספק הדרוש, מגנים עליה באמצעות ניתוק עומסים, באופן אינטליגנטי כמובן (השלת עומס). או, אפשרות שניה היא שישנה עתודה סובבת, כלומר יחידות אחרות שלוקחות על עצמן (מספקות) את העומס הנוסף שהתחבר. במקרה ששני התנאים הני"ל לא מתקיימים, מערכת ההספק עלולה להתמוטט (לקרוס).

נשאלת השאלה – האם יתכן שמדינת ישראל תמצא את עצמה לגמרי בלי חשמל – לא באזור מסוים, אלא בכל האזורים, אפס חשמל במדינה? הדבר הזה קרה אצלנו, ב-1983. מדינת ישראל מצאה עצמה בלי חשמל באופן מוחלט. היו צריכים להתחיל מאפס. שר האנרגיה היה אז יצחק מודעי ז"ל שמינה אותי בתור יושב ראש ועדת חקירה בנושא הזה.

**ד"ר פרי לב-און: מה גרם לזה?**

**פרופ' אברהם אלכסנדרוביץ:** ב-1983 בתחנת הכוח אורות רבין (אז נקראה מ"ד) הכניסו יחידות פחמיות חדשות. לא היה מספיק ניסיון בטיפול ביחידות בממדים האלה (350 מגה-וואט). ההשפעה של ניתוק יחידות כאלו מהרשת יכולה לגרום להתמוטטות המערכת – וזה מה שקרה. היו בעיות מכניות, אני לא נכנס לפרטים. הייתה רק דרך אחת להציל את המצב – להשיל את העומס, והשילו את העומס. למשל, השילו את המוביל הארצי, אבל הוא לא עבד באותו זמן! ועוד כמה קווים נותקו שלא היו עמוסים. המערכת התפרקה, היחידות של חדרה נותקו. יחידות אחרות באשקלון ובתל אביב ובחיפה לא היו מסוגלות או מוכנות לקחת על עצמן את ההספק החסר, התדר התחיל לרדת, הגנות ניתקו את כל תחנות הכוח כדי למנוע נזק רציני לציוד. מדינת ישראל כולה נשארה בלי חשמל. היה צריך להתחיל מאפס, להתניע טורבינות גז, ולהתחיל לספק חשמל לכל התחנות (כי הרי תחנת כוח עובדת על חשמל). לקח 12 שעות עד לחיבור הצרכן האחרון. זה היה אסון שאף אחד לא ציפה לו.

כלומר, לא רק פולס אלקטרומגנטי או צונאמי או חבלה וכו' יכולים לפגוע באספקת חשמל; גם תנאי עבודה רגילים, אם המערכת לא עובדת כמו שצריך ולא ננקטו כל האמצעים הדרושים - יכול לקרות דבר כזה.

מה שהחמיר את המצב היא העובדה שאנחנו מערכת מבודדת – אנחנו אי אנרגטי. בנוסף, לא היו אז מקורות חירום בתחנות (למשל דיזל גנרטור), ההשלוח לא היו בסדר, לא היה פיקוח מודרני. המלצות הועדה היו לטפל בבקרה של הדודים ושל הגנרטורים, הכנסת יחידות חירום בכל תחנה ותחנה למקרה שלא תהיה אספקה מהתחנה עצמה, לטפל בנושא של השלת עומס, לקדם את הפעלת הפיקוח הארצי ולשמור על עתודה סובבת. חברת החשמל מילאה את כל ההמלצות.

התקלה הגדולה השנייה הייתה ב-1987 וגם בה אני טיפלתי (מינוי של שר האנרגיה דאז משה שחל). גם התקלה הזאת הייתה בחדרה. בפעם הזאת השלות העומס היו נכונות, יחידות אחרות היו מסוגלות לקחת על עצמן את ההספק, והמערכת ניצלה.

מה שאני רוצה להדגיש זה שעלול לקרות מקרה כזה שוב. למרות כל המאמצים, אי אפשר להבטיח מאה אחוז ביטחון באספקה. למה? תראו מה שקורה עכשיו: ישנו שינוי במערכת ההספק – מצד אחד ישנה אספקת חשמל פרטית (במקביל לחברת חשמל) בהספקים רציניים ומקורות אנרגיה מתחדשת. מצד שני יש בעיה בקווים – צריך להזרים למערכת הספקים גדולים. זה דורש פיקוח מעבר לחברת החשמל, פיקוח מדיני. אם זה יבוצע באופן נכון - הדבר ישפר מאוד את אמינות המערכת אבל, אי אפשר להבטיח. אולי כמה טורבינות בו זמנית יהיו בשיפוץ, קו מתח עליון או על ינותק, וכו'. יש עוד הרבה סיבות נוספות שיכולות לגרום למערכת לקרוס.

**ד"ר פרי לב-און:** אבל לפי מה שאתה אומר – היום קיימות תכניות לטפל במקרים כאלה?

**ד"ר יהודה ניב:** כמובן. קיימת מערכת לטפל במקרים כאלה.

**פרופ' אברהם אלכסנדרוביץ:** אבל עדיין, למרות שעשו שינויים חשובים, יכול לקרות משהו.

**ד"ר יהודה ניב:** בוודאי.

**ד"ר מרים לב-און:** זה קרה גם בארה"ב לא מזמן. ב-2003 חלק גדול מאוד של כל מזרח ומרכז ארה"ב, וחלק מקנדה, נשאר בלי חשמל שלושה ימים בנסיבות דומות.

**פרופ' אברהם אלכסנדרוביץ:** כן, אבל לא כל ארה"ב.

**ד"ר מרים לב-און:** כן. אבל ב-20 מדינות שלמות לא היה, מבוססות עד משיגן ועוד...

**ד"ר יהודה ניב:** זה לא דומה. המדינות האלו אינן איים מבודדים. אנחנו לא יכולים להרשות לעצמנו מה שהאמריקאים יכולים להרשות לעצמם.

**פרופ' אברהם אלכסנדרוביץ:** כן. אצלנו, בניגוד למקרה שאת מתארת, היה צריך להתחיל מאפס.

**אלעד שביב:** הנקודה הזאת עלתה ודנו בה, הלא כן? להנהיג פיקוח נפרד.

**פרופ' אברהם אלכסנדרוביץ:** אבל שים לב שלא אמרתי פיקוח נפרד. הוא צריך להיות רחב יותר, על כל אמצעי הייצור, לא נפרד. פיקוח ששולט על הכול.

**ד"ר גדעון פרידמן:** אני מזדהה עם חלק ממה שאברהם ארביב אמר. אני אולי פחות פסימי אבל אנחנו בהחלט במערכות שהן יותר ויותר מורכבות ומתוחכמות ולכן הרבה יותר רגישות לכל מיני פגיעות. למשל, אם לפני 150 שנה היה אירוע EMP ולא קרה כלום, היום אנחנו יודעים שאירוע כזה מסוגל לגרום לאסון גדול, וזו רק דוגמה אחת מיני רבות.

מצד שני יש הכרה בנושא הזה; יש התייחסות ומודעות לכל מיני סיכונים. מה שלא בטוח זה האם התמחור נכון. כלומר, האם אנחנו משקיעים מספיק בהגנות. עיקר ההתייחסות היא לנושאים קצרי הטווח, כמו העבודה שד"ר דן וינשטוק עשה, בנוגע לכל מיני פגיעויות של מערכת החשמל, אבל אנחנו צריכים גם לנסות לבנות לעתיד את המערכת באופן כמה שיותר רובוסטי. שוב, הבעיה העיקרית היא שאין הכרה ואין נכונות להתמודד עם העלויות הדרושות לשם כך. כנראה שיהיה צורך במערכת מבוזרת שכל אחד מחלקיה יוכל להתקיים גם באופן עצמאי וגם בהדדיות.

אז מה עושים? צריך לדבר על הנושא הזה כמה שיותר וצריך להחדיר את הנכונות לשלם עבור החוסן. זה אומר גם לתת לאנרגיות מתחדשות, גם לתת לכיוון של מיקרו-גריד, לתת לכיוון של ניהול משודרג. צריכה להיות מוכנות לשלם.

**פרופ' גרשון גרוסמן:** קראתי בזמנו על מה שקרה בפוקושימה (יפן) כשהכה הצונאמי. היו להם גנרטורי דיזל שתפקידם היה להפעיל את משאבות מי הקירור של הכור הגרעיני. אם אני זוכר נכון הם היו

ממוקמים בגובה של 6 מטר מעל פני הים, אבל הצונאמי הגיע ל-8 מטר, ואף אחד לא חשב (לפי הגלים שהיו בעבר) שצונאמי יגיע לגובה זה. וזה מה שגרם לאסון, אחרת היו מתגברים על זה.

**ד"ר פרי לב-און: בדיוק.**

**ד"ר חנוך בן-חיים:** אני רוצה להפחית מתח מכיוון התחומים שבאחריות של חברת החשמל. מבחינת הפיקוד, נאגר הרבה ידע מ-1983 ועד היום, ויש הרבה פעילויות בנוגע למצבי ביטחון בכל מיני תחומים – גם למה שאתם קוראים הטווח הקצר או הארוך, אצלנו זה הכול נכנס תחת המושג של אמינות ושרידות המערכת. אלו דברים אינהרנטיים שהם בשליטה מוחלטת. יש סימולציות בכלים משוכללים יותר הלוקחים בחשבון מצבי סיכון ברמת תכנון המערכת וגם ברמה של פיקוח ארצי. קליטה של צרכנים פרטיים נעשית באופן מבוקר מבחינה טכנית וטכנולוגית. יש נוהל לחיבור יצרנים פרטיים המעוגן באמות המידה ומיושם באופן מקצועי וקפדני בח"י.

בכל מקרה, מבחינה מקצועית, מבחינה טכנית, הנושאים האלה מטופלים ונכון להיום הכול בשליטה. ספציפית בנושא הקיימות יש, לפחות בתוך חברת החשמל, מודעות מאוד גדולה הן ברמת תכנון המערכת והן ברמת התפעול. מניעת מצבי עלטה הוא נושא שמנותח ומתורגל. אנחנו לוקחים את כל החוקים והתקנות והגזרות וישר מתרגמים את זה למעשים והחלטות קונקרטיות.

אני מזכיר שאנחנו לא מחליטים מה המדיניות. אנחנו מקבלים את המדיניות. אני יכול להגיד שבשלב זה אנחנו מוכנים לקלוט מדיניות. לכל דבר יש עלויות ואנחנו יודעים יחסית מהר להעריך את המשמעות של אותן עלויות, ועל המדינה להחליט אם היא מעוניינת להיכנס לעלויות האלה או לא. אנחנו נשמור על הסביבה ועל האזרחים מבחינת התעריף.

בנוגע לנושאים שעלו במצגת של ד"ר דן וינשטוק – אתחיל בנושא של הצונאמי. חקרנו את ההשפעה של צונאמי על מערכת חברת החשמל. אם תהיה פגיעת צונאמי באזור שלנו, אנחנו נוכל בשלב ראשון לעבוד עם מה שיש בצפון. אין לנו כלים להתמודד עם זה, למדנו מיפן שלעולם לא נוכל להתכונן מספיק ולנבא כל תרחיש, הטבע תמיד ימצא דרכים לפגוע. הדגש הוא על שיקום ותגובה נכונה ומהירה. בכל התרגילים של חברת החשמל, פעם בקיץ ופעם בחורף, מעלים שוב ושוב נקודות. לא במקרה הציון בשירות של חברת החשמל הוא ציון גבוה, כי יש באמת נכונות בשטח לתת מענה ואני יכול להעיד על זה. אני באגף תפ"ט, שם אנחנו לא נותנים שירות אבל אני יכול להעיד על המוכנות של החברים האחרים ממש להתמסר לנושא הזה.

לגבי טילים – יש עבודה שנעשתה בתיאום עם כל המערכות של המדינה בתחום.

לגבי פולס אלקטרומגנטי – נכנסנו לנושא הזה באופן אינטנסיבי. אני רק רוצה לתקן נקודה אחת – הבעיה היא לא בשנאים, הבעיה היא בכל המערכות של חברת החשמל, ממתח נמוך ועד מתח גבוה דווקא, וגם בכל העניינים התקשורתיים שנוגעים לזה. האיום האמיתי שצריך להתמודד אתו וגם להעריך אותו זה E1 דווקא, ולא E3. יש 3 גלים ל-EMP, בלתי תלויים אחד בשני, הגל הראשון נקרא

E1; מדובר בסדר גודל של ננו שניות, המכה הזאת פוגעת דווקא בציוד במתחים נמוכים יותר. לכן כל הצרכנים, כולל המיקרו-גריד, לא יוכלו להתמודד עם זה. האסטרטגיה של חברת החשמל היא להתמודד עם זה, בעיקר במתקנים העתידיים, שם באמת העלויות יכולות להיות נמוכות. כדאי לכם, בתחום של המיקרו-גריד, לחשוב על זה – הדרכים להגן מפני זה כבר מוכרות, וזה משהו שניתן לעשות. ברמה של המתקנים שכבר קיימים יש לקבוע סדרי עדיפויות ולזהות איך אנחנו קודם כל מגנים על מנת לשקם את המערכת ולספק חשמל לספקים החיוניים של מדינת ישראל באירוע EMP (זה יכול להיות קצת שונה מאירוע של רעידת אדמה, או אחר). צריך לדעת היטב את הנהלים במקרה ומתרחש כל סוג של אירוע.

לגבי גז – שוב, אנחנו תלויים במדיניות מדינת ישראל. המגמה היום היא לעבור לשימוש בגז ולהפסיק עם פחם. אני לא מומחה בתחום ואין לי את כל הנתונים בשביל לשפוט, אבל לפי מה שראינו אפילו בארה"ב עדיין לא הכול מבוסס על הגז. שומרים על היקף מסוים מכל סוג של מקור אנרגיה כדי להפחית את התלות במקור בודד. העובדה שאנחנו לאט-לאט חונקים את התחנות הפחמיות שלנו זה דווקא סיכון לכל שאר האמצעים. כדי שנוכל להכניס אנרגיות מתחדשות באופן ששומר על יציבות הרשת וגם על היכולות שלה לתת גיבוי לכל מדינת ישראל – דווקא הבסיס יכול להיות תחנות פחמיות, לפחות ברמה מינימלית. בזיהומים ניתן לטפל בכל מיני דרכים. החברה משקיעה לא מעט כספים בהתקנת מתקנים כדי להפחית את הזיהום למינימום.

אני רוצה לדבר על שני סיכונים בטיחותיים שעוד לא נגעו בהם כאן:

הראשון - ריבוי הרגולטורים במדינת ישראל, וחוסר התיאום ביניהם, הוא הסיכון האמיתי למשק החשמל היום. קשה לראות את זה, אבל אנחנו חשים את זה. המצב הנוכחי בו יש חברת חשמל אחת, שרק היא דואגת לכל התיאום - יוצר סיכון, כי ברגע שמפוררים מצד אחד את החברה, ומצד שני ישנם כל מיני גורמים שלוקחים החלטות שלפעמים סותרות אחת את השנייה - זה מונע מחברת החשמל את היכולות לתאם את עצמה נכון, גם מבחינת אספקת חשמל, וגם מבחינת איומים.

השני – הרבה יותר חמור מהראשון, זה הנושא של הידע. היום יש ידע עצום בתוך חברת החשמל. המשאב של מהנדסי חשמל מאוד נפגע לאחרונה. הטכניון סגר את היחידה ללימודי הנדסת "זרם חזק" ואנחנו חשים את זה מאוד. הנושא של המחקרים בתחום הזה היה אמור לפרוח וכיום הוא נתקע כי רוב הידע בתחום הזה נמצא רק במכללות, וזו גישה אחרת, עולם אחר לחלוטין.

**ד"ר יהודה ניב:** גם העלייה מרוסיה נפסקה ב-1992.

**ד"ר חנוך בן-חיים:** נכון. אנחנו היום מתבססים על תשתית של ידע שהגיע לארץ בעלייה ממדינות מזרח אירופה – רוסיה, רומניה וכו'. אם הידע הזה יפגע, נהיה הרבה יותר חשופים להתמודדות מול האתגרים העתידיים – זה הבסיס.

**ד"ר דן וינשטוק:** אני חייב לציין שבתחום הזה ד"ר חנוך בן-חיים לא רק מדבר אלא גם עושה.

**אלעד שביב:** אני חושב שצריך לחלק את הנושא של ביטחון באספקת אנרגיה בישראל לשני נושאים. אחד זה באמת הביטחון באספקת אנרגיה והשני זה התפקיד של אנרגיה בשמירת ביטחון ישראל. אלו שני דברים נפרדים.

אני חושב שרוב התפיסה שיש לנו בארץ היום היא עדיין ביטחון באספקת אנרגיה. חברת החשמל היום ברובה ממונה על זה. וזה באמת מאוד חשוב, לפחות במאה השנים האחרונות. אבל בעשרים השנים האחרונות זה תופס מקום לגמרי אחר. זה מאוד דומה לעולם הסייבר שחייתי אותו הרבה מאוד שנים. לפני 15-20 שנה בצבא לא הכירו בכלל את נושא הסייבר ורק התחילו להסתכל על זה. בהסתכלות הראשונית הייתה רק שמירה על ביטחון שדה. היום בעצם החיל הגדול ביותר שיש לנו בצבא מתבסס על חשמל. לא כך היה לפני 20 שנה. אני מניח שזה רלוונטי גם לצבאות אחרים. למיטב ידיעתי אין לנו היום הסתכלות על אנרגיה כמשאב שקשור ישירות לביטחון המדינה - הן בהגנה על האנרגיה שלנו, והן בנטרול אנרגיה של צבאות אחרים. קראתי בזמנו כתבה על מלחמת לבנון הראשונה, על שימוש בלוחמה אלקטרונית בקרבות אוויר. זו הייתה תפיסה חדשה, היכולת הייתה קיימת קודם אבל לא תפסו את זה כמשהו שיכול להיות התקפי. לדעתי זה קריטי להסתכל על אנרגיה במסגרת ביטחון המדינה ואני מקווה שלא נתעורר מאוחר מדי. אני יודע שהוזמנו לפורום הזה אנשים ממשד הביטחון. לא יושב כאן היום אף אחד ממשד הביטחון.

**פרופ' גרשון גרוסמן:** נכון.

**אלעד שביב:** אני מגיע מעולם ה-IT. אנרגיה נתפס כתחום מיושן, למשל בטכניון סגרו את היחידה ללימודי הנדסת "זרם חזק". אבל אנשי האנרגיה יודעים שדברים השתנו. עולם ה-IT ועולם הסייבר מאוד קשורים היום לעולם האנרגיה. מקורות האנרגיה גם נעשים יותר חשופים לסכנות פה בארץ וגם במקומות אחרים, ובו זמנית אנחנו גם מאוד מסתמכים עליהם.

אני חושב שאולי יש מקום גם לשנות את המינוחים. צריך להחליט האם אנחנו מדברים על אבטחת אנרגיה במדינה כדי לנהל חיים כסדרם עבור עלות מסוימת, או על תפקיד האנרגיה בשמירה על ביטחון המדינה. זה נושא בפני עצמו שכדאי להתמקד בו. ברמה מדינית זה מביא אותנו למקומות לגמרי אחרים.

**פרופ' גרשון גרוסמן:** אני מסכים. כלומר, חשיבות האנרגיה לביטחון המדינה היא כמו חשיבות מזון או מים לביטחון המדינה. אלו דברים חיוניים מאוד כמובן. לא לזה התכוונו בבחירת הנושא של הפורום הנוכחי אבל זה ללא ספק חשוב.

**אלעד שביב:** אני חושב שזה אפילו מעבר לזה. אני חושב שהנושא האנרגטי הוא לא רק כמו מזון ומים, הוא גם אמצעי התקפי אקטיבי.

**ד"ר יהודה ניב:** מעבר לשאלה של מה תפקידה הישיר של האנרגיה – האנרגיה היא תשתית, ובלי תשתית כל המגדלים פורחים באוויר. אין להם זכות קיום. כל 70 הקילוגרמים שלי תלויים ב-2 קילוגרם

של דם שזורם בגופי ובלי אותם 2 קילוגרם כל 70 הקילוגרמים הופכים למשהו חסר משמעות. לכן בין אם מדברים על ביטחון או לא – זה משהו שבלעדיו אי אפשר.

רציתי להגיד כמה מילים על הנושא של ביטחון באספקת אנרגיה בישראל.

אנחנו צריכים גיוון אנרגטי. יש נטייה להגיד "יש לנו גז טבעי – בוא נהפוך את הכול לגז, הוא נקי, הוא זול, הוא בשליטתנו...". זו אמירה מאוד בעייתית, מכיוון שזה מקור אחד. בנוסף, הגז הטבעי הוא דלק הנמצא בתהליך: מהרגע שהוא יוצא מהאדמה ועד שהוא מגיע לאותו מקום שבו שורפים אותו כדי להפיק חום או חשמל – עוברות 18 שעות בלבד. אין לנו מאגרים סבירים בכמויות גדולות לגז טבעי. ובכלל – לשים את כל הביצים בסל אחד זה לא נכון. כמעט אין שום מדינה בעולם שמשתמשת ב-50% גז טבעי לייצור חשמל, ובוודאי שלא יותר; יש אחרים שיש להם יותר גז טבעי מאשר לנו, למשל הולנד, וגם שם לא עוברים את הרף של 55% ייצור חשמל מגז טבעי. אנחנו לפעמים נגררים לכל מיני פינות שנראות יפה, רק בלי לשאול את עצמנו האם הבסיס הזה מספיק איתן ויציב.

כשיש גיוון אנרגטי צריך גם לשאול את שאלת המלאים. אנחנו פה מדברים רק על חשמל, אבל למדתי ממינהל הדלק שהדרישה במדינות האיחוד האירופאי היא שכל מדינה תחזיק שלושה חודשי דלק במאגרים. מדינת ישראל לא הייתה יכולה להצטרף לאיחוד האירופאי ולו רק בגלל זה...

**פרופ' גרשון גרוסמן:** דלק לאיזו מטרה בדיוק? תחבורה? חשמל? הכול?

**ד"ר יהודה ניב:** תחבורה ותעשייה אוכלים ביחד כחצי ממקורות האנרגיה הראשוניים; החצי השני הולך לחשמל.

עד כאן בנושא הדלק. אנחנו משתמשים גם בגפ"מ (גז פחמימני מעובה), גם לבישול ביתי וגם מפעלים משתמשים בזה לצורכי חימום עקב שיקולים של כדאיות. מלאי הגפ"מ של מדינת ישראל מספיק לימים ספורים בלבד. כלומר, לא צריך לדבר רק על חשמל.

מלאים אפשר לאגור רק עבור דלק מוצק או נוזלי. אנחנו לא אוגרים מלאי של גז טבעי: אגירה של גז טבעי נוזלי היא מאוד יקרה (יש לשמר אותו ב"תרמוס" בטמפרטורה של מינוס 160 מעלות), ועדיין לא נמצאו אתרים המאפשרים אגירה יבשתית של גז טבעי דחוס בכמויות גדולות. מלאי הגז שלנו בצנרת ההולכה הוא שווה ערך של 90 דקות הספקה במקרה של הפסקת הפקה פתאומית. מערכת ההפקה והאספקה שלנו היא מינימלית: יש לנו צינור אחד שמוביל את הגז הטבעי מהבאר לאסדה, אסדת טיפול אחת, צינור אחד מהאסדה לחוף, ותחנת קבלה אחת. המספר 1 בסטטיסטיקה הוא מספר די קטן, וזה מאוד מאוד בעייתי. בוודאי אם מתכננים לסמוך על זה ולבנות על זה ולייצר את כול החשמל מגז טבעי. אז לפני שמייצרים את הכול מגז טבעי – צריך הרבה צינורות. הולנד מרושתת בצינורות ויש לה הרבה קידוחים (קידוחים רדודים באדמה, לא צריך שם לרדת 1.5 קילומטר בים ועוד 5 קילומטר לתוך הקרקע) והיא לא ממחרת כל כך לגז הטבעי – הם שורפים פחם כדי לעשות חשמל.



בנוסף לשאלה של המלאים, צריך לדאוג שתהיה מערכת נכונה להעביר את הדלקים לאן שצריך אותם. המערכת שלנו לא מושלמת.

אני חוזר לחשמל – יש לנו גיוון בשיטות הייצור אבל אנחנו התאהבנו במחז"מים - "ותהי כל הארץ מחז"מים". זה לא בדיוק הפתרון הנכון, כיוון שצריך יחידות ייצור מסוגים שונים כדי להחזיק מערכת חשמל המספקת צריכה שמשנתנה כל יממה בערך בפקטור של 2 בין המינימום למקסימום, ומשתנה במהלך השנה בפקטור 3 בין המינימום למקסימום. דרישות אלה מחייבות להכניס ולהוציא מפעולה יחידות כדי לשמור על התדר וכדי לא להשיל צרכנים אלא לספק להם חשמל. צריך גיוון בשיטות הייצור. יש לנו כרגע, אבל לא מספיק.

אנחנו גם עשינו משהו שאין כמעט בשום מקום בעולם – כל היחידות הגדולות שלנו הן דו-דלקיות. זה הגיע מתוך חשיבה של שרידות. אם חס וחלילה חסר דלק אחד - עובדים עם הדלק השני. את קיץ 2012 עברנו עם 350,000 טון סולר כל חודש, עם תמיכה של ייצור חשמל במזוט, ועם ייצור חשמל מפחם במלוא הקיטור. למה? כי לא היה מספיק גז טבעי. מזל שיחידות הייצור יכלו לעבור מגז טבעי לסולר. כיוון שלא כולן יכולות לעבור מגז טבעי לסולר, לקחנו את מעט הגז הטבעי שהיה לנו ליחידות אלה, כדי לא להגיע למחסור בייצור החשמל ולהשלת צרכנים. כל העסק הזה הצריך תחכום, מוכנות, ועבודה עם פינצטה.

כשמייצרים את החשמל צריך מערכת הולכה יציבה ואמינה. יש לנו היום קו 400 kV אחד ש"תופר" את המדינה מרמת חובב ועד תחמ"ג זבולון. אבל קו אחד זה לא מספיק, כי קו בנוי על עמוד אחד הנושא עליו שני מעגלים, ואם קורה משהו אז יש נתק. בסופה המפורסמת של חורף 2015 דבר מאוד פשוט קרה – נקרע כבל ההארקה שנמצא מעל העמודים והוא התיישב על המעגלים ויצר קצר, ונוצר נתק בין הצפון לדרום! וצריך היה להגיע למקום קשה הגעה כדי להוריד את כבל ההארקה, שהוא בעצם כליא ברק של המערכת (זה תפקידו ולכן הוא מעל קווי הרשת כדי לתפוס את הברקים; אולי הברקים הם אלה שקרעו אותו, כי הרי הייתה כמות עצומה של ברקים שלא הייתה אף פעם בהיסטוריה הנמדדת). אי אפשר היה לחשמל בחזרה את המעגלים המנותקים לפני שקו ההארקה הותקן בחזרה. אנחנו צריכים שני קווי 400kV, עם חיבורים ביניהם, כדי שאם יקרה משהו דומה החשמל יוכל לעבור מקו לקו ולעקוף את הנתק.

כרגע כדי לעבור את גוש דן והשרון יש קו אחד במזרח לאורך כביש 6. רוצים להעביר קו שני? תחשבו על זה. כולם רואים אותו, לכולם זה מפריע, אין איפה להעביר אותו.

מנגנוני חלוקה נשלטים: למי שלא יודע – יש לנו רשת חכמה. זאת משום שכל קווי המתח הגבוה מנטורים מרחוק וניתנים לניתוק על ידי חברת החשמל מרחוק. זו רשת חכמה. עדיין אין לנו חישה עד לצרכן, אנחנו לא יודעים מה קורה במתח הנמוך, וזאת כיוון שאין לנו מנייה חכמה. מונה חכם הוא בין היתר רגש בקצה המערכת. מערכת המתח הגבוה מנוטרת על ידי מערכת שכולם אוהבים לשנוא, ה-DMS, ונשלטת על ידי פיקוד מרחוק. לכן אפשר לעשות השלות מתוחכמות של צרכנים כשיש עודף

צריכה על פני ייצור, וכשתדר המערכת נופל. זה אולי נדמה כאילו זה קרה רק ב-1983, אבל אנחנו משילים צרכנים בערך 30 פעם בשנה. כל פעם שתחנת כוח גדולה (400-350 מגה-וואט ויותר) נופלת, ירידת התדר במערכת כל כך גדולה שהמערכת אינה מסוגלת להגיב לשינוי הזה, ועם ירידת התדר יש השלת צרכנים אוטומטית. בדרך כלל זה מושת על צרכנים שעשו הסכמים, אבל אם הצרכנים שעשו הסכמים לא צרכו באותו זמן והשלתם לא עוזרת, אז ההשלה עוברת לצרכנים שלא עשו הסכמים. השלה לא מתבצעת בקווים שאסור להפסיק אותם, כמו למשל אספקת חשמל לבית חולים; את אלה לא משילים במסגרת ההשלה האוטומטית, אבל מי שלא התמזל מזלו להיות מחובר לקו של בית חולים ישילו אותו, כי אין השלה נקודתית, יש השלה של קווי מתח גבוה. ולהשלה של קווי מתח גבוה צריך מדיניות שליטה. יש מדיניות אבל היא לא לגמרי סגורה. היא קיימת, היא מובנת, אבל אין לה גיבוי חוקי מתאים. צריך לעשות את זה כדי שאף אחד לא יתלונן ובית המשפט יקבע שהתלונה שלו מוצדקת כיוון שלא היה גיבוי חוקי לפעולה שהיא הכרחית. הרי גם זה יכול לקרות במקומותינו.

מעל לכל דרושה מערכת ניהולית מתאימה - נדרשת רגולציה אחת מצד הממשלה ולא יותר מדי רגולטורים. הרגולציה הזאת צריכה לבנות את כל הכלים, ושיהיו כלים שיעבדו. ביטחון כולל בין היתר סדרה של פעולות אוטומטיות, ללא תהליך קבלת החלטות מייגע ועיכובים מיותרים. תהליכים כאלה צריכים להיות מתורגלים. חברת החשמל מתרגלת, אבל המדינה לא מתרגלת את זה מספיק. אם המדינה תיקח על עצמה את הניהול של מערכת החשמל בחירום, היא צריכה להקים מערך טוב עבור זה משל עצמה.

השאלה הייתה מה יכולה וצריכה הממשלה לעשות לאבטחת האנרגיה בישראל? אני חושב שנתתי כמה המלצות ונקודות למחשבה.

**ד"ר מרים לב-און:** אני רוצה להוסיף למה שאלעד שביב אמר בקשר לנושא של צבא וביטחון, מניסיון של צבא ארה"ב שהוא צרכן האנרגיה הגדול ביותר בארה"ב, והם מודעים לזה ולסכנות שיש בזה. הם התחילו לפני למעלה מ-15 שנה להקים משהו שנקרא Sustainability Network – מערכת של קיימות לכל אחד מהחילות. אנשים דנים ומקבלים החלטות בנוגע להוראות מבצעיות לתרחישים. הם עוברים כל מיני שלבים, למשל לעבור לדלקים ביולוגיים. חיל הים האמריקאי מתרגל הרבה מאוד דלקים ביולוגיים וגם חיל האוויר האמריקאי מתרגל הרבה עם בואינג דלקים שלפחות חלק מהם ביולוגיים.

**פרופ' גרשון גרוסמן:** למה הכוונה דלקים ביולוגיים?

**ד"ר מרים לב-און:** bio-fuels. דלקים העשויים מביו-מאסה. דלק שהפיקו אותו מחומרים ביולוגיים. הם מיישמים דברים נוספים גם מבחינת התייעלות אנרגטית וכמובן מחסני חירום וכו'.

דבר נוסף הוא הנושא של התשתיות. היו לנו כמה פורומים פה בנושא של מערכת הגז. דיברנו המון על כך שאי אפשר להסתמך על אסדה אחת וקו אחד בלבד.

**ד"ר יהודה ניב:** על זה קישון כתב: "בכל העולם אנשים מאמינים בניסים, בישראל מתכננים עליהם".

**ד"ר מרים לב-און:** אז מה הממשלה צריכה לעשות? אמנם זה לא נראה שיתרום ישירות לאבטחת אספקת האנרגיה בישראל אבל זה כן יתרום לטווח הארוך, וזה הטיפול בתרבות שקיימת פה, תרבות התכנון ושימויות התכניות למצבי חירום וקיצון, ותרגול. להגיע לרמה שזה כמעט אוטומטי במערכת במידה ומתרחשים אירועים כאלה ואחרים.

בנושא של אגירת גז – אני חושבת שצריכים שתהיה אפשרות לאגור גז כי באמת אי אפשר להסתמך על הגז שישנו בצנרת. יש שיטות לאגירה של גז, השיטה הנפוצה ביותר היא ניזול; ניתן לאגור גז מנוזל מעל, או מתחת לקרקע. ניתן לעשות את זה, יש היום שיטות לניזול גז במערכות קטנות ומבוזרות שיכולות להיות אפילו קרובות לטורבינה שמיועדת למצבי חירום כך שהגז יוכל להיכנס מהר מאוד למערכת.

**ד"ר יהודה ניב:** מתקן סביר שיגבה מחז"מ – ה"תרמוס", היינו יחידת האגירה לנוזל בטמפרטורה של מינוס 160 מעלות צלזיוס, עולה לבדו כמו מחצית מתחנת המחז"מ, לפני העלות העודפת של הגז הטבעי הנוזלי על פני עלותו בתצורת גז. אגירה כזו היא פתרון מאוד יקר.

**ד"ר מרים לב-און:** החיים אכן לא קייטנה אבל צריכה להיות מוכנות לשלם. רוצים כל הזמן שיהיה חשמל זול, והחשמל בישראל זול מאוד...

**ד"ר יהודה ניב:** הכול בסדר כל עוד זה לא עולה כסף.

**ד"ר מרים לב-און:** למשל הסטנדרט האירופאי שדיברת עליו, שנקרא N1, המחייב שתהיה אספקה של 30 יום לפחות, ורצוי 90 יום – צריך להיות חלק מתכנון המערכות. זה לא יכול להיות תוספת שנוכרים בה אחר כך ואז זה לא מתבצע כי זה עולה כסף. זה צריך להיות חלק מהתמחיר הראשוני. למשל היום בארה"ב, כאשר מנוזלים את הגז, זה מתבצע באופן רוטיני. כלומר, 10% מכל הגז שמגיע לתחנות הולך לניזול ואגירה כל הזמן, כל השנה. אני מסכימה שהתלות ההולכת וגוברת של ישראל בגז ולא בדלקים אחרים היא מסוכנת.

**ד"ר יהודה ניב:** האמריקאים מבינים שאין דבר כזה ארוחה חינם. אצלנו לא מבינים את זה.

**ד"ר גדעון פרידמן:** לא נמצא כאן היום צוות משרד האנרגיה שעוסק בביטחון. יש פעילות אינטנסיבית בנושא הזה – אנחנו לא יכולים לדבר על זה כאן.

**ד"ר חנוך בן-חיים:** חברת החשמל עובדת על פי הנחיות, פשוט מאוד. ובנושאים האלה אנחנו מקפידים ולומדים.

**פרופ' גרשון גרוסמן:** חברת החשמל עובדת על פי הנחיות של דלקים הדרושים בשביל חברת החשמל, אבל חברת החשמל לא אחראית על התחבורה, זה מנהל הדלק. כלומר, יש גופים שונים וכל אחד צריך לדאוג שיהיה מלאי למה שהוא מופקד עליו?

**ד"ר חנוך בן-חיים:** כן. בהתאם להנחיות שהוא מקבל. אני רוצה להדגיש - לא הכול הפקר. אם זה נכון או לא זה סיפור אחר.

**ד"ר פרי לב-און:** דבר שאותי מפליא הוא הכמויות שישנן במאגרים, אם בכלל. אתן לכם דוגמא מנושא משיק: אגירת ואספקת מים: לפני מספר שנים ליוויתי בביקורו בישראל אורח שמשרד התמ"ת הזמין ואשר היה אחראי על נושא אגירת ואספקת המים עבור כל תושבי דרום קליפורניה (כ- 18 מיליון איש). במסגרת ביקורו בארץ נלקחנו למאגר מי השתייה של ירושלים, מקום מאוד יפה, אך כמובן שלא אוכל לציין בדיוק היכן הוא. האורח שאל את מארחינו שאלה פשוטה – "לכמה זמן מספיק המאגר הזה?". האחראי על המאגר ענה לו "כיומיים" והאורח היה המום. שאלנו אותו ולכמה זמן אמורה אגירת המים בדרום קליפורניה להספיק והוא ענה: "לפחות לחצי שנה". זה היה אמנם לפני הרבה שנים ואולי דברים השתנו אך ההבדל היה מדהים. בנוסף יש להם בדרום קליפורניה גם מתקנים פנטסטיים להתפלת מי ים.

**פרופ' גרשון גרוסמן:** גם כאן יש.

**ד"ר יהודה ניב:** ובלי חשמל הם לא עובדים.

**ד"ר פרי לב-און:** נכון.

דבר נוסף, ואולי זה חלום באספמיה, אבל למה שלא יהיה כאן אדם בתפקיד של Energy Tsar, כמו שיש בארה"ב? כלומר, מישהו שיפקח ויהיה אחראי גם על ביטחון אנרגיה, גם על אספקה ובכל מה שקשור באנרגיה.

**ד"ר יהודה ניב:** קוראים לו בישראל שר האנרגיה, ואם קורה משהו, תשאלו את מבקר המדינה את מי הוא בודק.

ההמלצה הכי חשובה לדעתי – לעשות את מה שצריך ושיעלה כמה שיעלה.

**אלעד שביב:** ולהסתכל על הנושא הרגולטורי ולאפשר יותר מיקרו-גרید.

## פרק 5: סיכום והמלצות

בדיוני הפורום התברר כי המוכנות של ישראל להתמודדות עם הסיכונים לאספקת אנרגיה אינה מלאה, אך המצב כנראה לא רע ביחס למדינות העולם המערבי. לעומת זאת, בניגוד לרוב העולם המערבי, עלינו יש אוסף גדול של איומים. חברת החשמל נערכה בצורה טובה להתמודדות עם רעידות אדמה. המוכנות לפגעי טבע אחרים, כגון שלג, שיטפונות וכדומה מוגבלת בין השאר ע"י בעיות נגישות הקשורות להיערכות רשויות מקומיות, כפי שראינו בחורפים האחרונים; אך גם ציפיות הציבור בעניין זה הן בלתי סבירות. קיימת מוכנות מסוימת להתקפות טילים וסייבר, אבל היא כנראה לא מלאה ביחס לפוטנציאל. אף כי חברת החשמל נערכת, משק החשמל בכללו פחות, במיוחד בעידן בו חלק מהייצור הינו פרטי. התלות של המערכת הצבאית באספקת החשמל האזרחית היא קריטית, ועלולה להיות בעייתית במצבי חירום. התלות של המשק האזרחי בחשמל הולכת וגדלה, עם חישמול רכבת ישראל והרכבות הקלות הקיימות ואלה שבשלב בניה<sup>4</sup>.

ביטחון אנרגטי תלוי באופן מרכזי בקיומה ובהפעלתה של תפיסה מערכתית כוללת לגבי המרכיבים השונים של תשתית האנרגיה (מערכת החשמל, אספקת דלקים לתחבורה ולתעשייה, אגירה, הולכה ושינוע). תפיסה כזו אינה קיימת כיום בישראל, ומן הראוי שתגובש בהקדם.

### המלצות:

1. נדרשת שמירה על גיוון מקורות האנרגיה וגיוון מערכות הייצור, והכל בהתאם לתכנון מסודר, תוך התחשבות (אך לא כניעה) במרכיבים חברתיים, כלכליים וסביבתיים.
2. נדרשת אגירה אסטרטגית של מקורות האנרגיה – הדלקים למיניהם, ומערך הולכת דלקים הכולל יתירות מתאימה. בין השאר חשוב מאוד הגיבוי במערכת אספקת הגז הטבעי (נדרש מערך הפקה והספקה נוסף).
3. נדרשת יתירות ורזרבה מתאימה במערך הייצור ובמערך הולכת החשמל הארצי.
4. מומלץ לפתח את מערכת החשמל לכיוון של רשת חכמה (smart grid): דו כיוונית עד קצה הדרך - צרכני המתח הנמוך.
5. מומלץ לקדם את רשת החשמל לכיוון של מיקרו-גרידים (microgrids) עצמאיים המקושרים זה לזה. מערכת כזו תאפשר מערך ייצור גמיש, דינמי, לפי אזורים, המאפשר שליטה מקומית לפי הצרכים, ושימוש באמצעי ייצור אנרגיה מגוונים.
6. מומלץ לפתח באופן מבוקר מקורות אנרגיה מקומיים ומתחדשים. כיום יש דגש רב מידי על הכלכליות, אך שכשמדובר בביטחון - הכלכלה הוא רק אחד המרכיבים. מקורות האנרגיה

---

<sup>4</sup> הערה: חישמול הרכבת הוא "בשוליים" של תלות המשק האזרחי בחשמל. בלי חשמל אין בריאות, אין תעשייה, אין בנקאות, אין... – אין מדינה מודרנית. לפני הרכבת.

המתחדשת – שמש ורוח – מוסיפים חסינות למערך ייצור החשמל לצורך ביטחון האספקה מול איומים ביטחוניים, והביזור הטבעי של מתקני אנרגיה מתחדשת מקטין מאד את הסיכון לפגיעה מערכתית.

7. מומלץ להמשיך בשילוב ברשת מתקני אגירה שאובה. יש לכך יתרון גדול באנרגיות מתחדשות גם כמשלים טבעי לטכנולוגיה וגם בגלל המוגנות הטבעית של המתקנים האלה, הקבורים עמוק בתוך ההר ולא חשופים לפגיעה קינטית.

8. יש להרחיב את הפעולות להתייעלות אנרגטית (ראה מקור 2). מומלץ לעודד ולהאיץ שימוש בתחבורה ציבורית ולהפסיק העידוד לנסיעה ברכב פרטי. מומלץ לעודד ולהאיץ בנייה משמרת אנרגיה, תוך שימוש בתקינה.

9. יש להקים מערך של ניהול ביקושים גמיש בזמן אמת. הדבר יתרום הן ליעילות מערך ייצור החשמל על ידי השטחת עקום הביקוש, והן להתמודדות רציפה במצבי משבר שלא באמצעות השלה, אלא ניהול הביקוש.

10. יש לוודא ולתרגל קיומם של מערכי טיפול במצבי קיצון שונים (מצבים מיוחדים) ברמת משק החשמל כולו: פיקוח, ייצור, הולכה וחלוקה של חשמל. חשוב שילוב הצרכנים עצמם בהיערכות. מטרת העל צריכה להיות הגעה למצב בו לקוחות הרשת יוכלו לקיים תפקוד מינימלי הכרחי עד שיגיע החילוץ.

11. מעל לכל דרושה מערכת ניהולית מתאימה - שתהיה רגולציה אחת מצד הממשלה. הרגולציה הזאת צריכה לבנות את כל הכלים, יחד עם גיבוי חקיקתי מתאים. אם וכאשר המדינה תיקח על עצמה את הניהול של מערכת החשמל בחירום, היא צריכה להקים מערך מתאים.

## פרק 6: רשימת מקורות

1. דן וינשטוק ומאיר אלרן: ביטחון מערכת החשמל בישראל – הצעה לאסטרטגיה רבתי. מזכר 152, המכון למחקרי ביטחון לאומי, אוניברסיטת תל-אביב (מרץ 2016).
2. גרשון גרוסמן ויגאל עברון: [התייעלות אנרגטית בישראל- שדרוג מערכות. סיכום והמלצות דיון פורום האנרגיה מס' 36](#), מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית (יוני 2016).

נספח 1 – תכנית פורום אנרגיה: ביטחון באספקת אנרגיה לישראל

שעות	תוכניה
13: 10-13: 00	פתיחה
13: 25-13: 10	ד"ר אברהם ארביב, משרד התשתיות, האנרגיה והמים - סגן המדען הראשי לשעבר, ביטחון אנרגיה וקיימות
13: 40-13: 25	ד"ר דן וינשטוק, יועץ חשמל - ביטחון מערכת החשמל בישראל – הצעה לאסטרטגיה רבתי
13: 55-13: 40	אלעד שביב, מנכ"ל האיגוד הישראלי לאנרגיה חכמה - מיקרו-גריד: טכנולוגיה לשיפור ביטחון אנרגטי
14: 10-13: 55	ד"ר פרי לב-און, The Levon Group LLC Natural Gas Security: Policy and Emergency Measures in Select OECD Countries
14: 30-14: 10	הפסקה
17: 00-14: 30	דיון פתוח, תוך התמקדות בשאלות הבאות: <ul style="list-style-type: none"> <li>• מה יכולה וצריכה הממשלה לעשות לאבטחת אספקת האנרגיה בישראל?</li> <li>• מה ידוע על תכניות מסוג זה בעולם ומה ניתן ללמוד מכך לגבי ישראל?</li> <li>• בעולם בו צפויה חדירה משמעותית הולכת וגדלה של מתקני הפקת חשמל באנרגיות מתחדשות <u>תנודתיות</u> לרשת החשמל, מה צריכה להיות האסטרטגיה שתבטיח ביטחון באספקת האנרגיה למשק הישראלי?</li> </ul>
17: 00	סיום



**מפגשי פורום האנרגיה של מוסד נאמן ([www.neaman.org.il](http://www.neaman.org.il))**

<b>שנה</b>	<b>פרויקט</b>
2016	פורום האנרגיה ה- 37 : ביטחון באספקת אנרגיה בישראל
2016	פורום האנרגיה ה- 36 : התייעלות אנרגטית בישראל : שדרוג מערכות
2015	פורום האנרגיה ה- 35 : אגירת אנרגיה בייצור חשמל
2015	פורום האנרגיה ה- 34 : ייצור משולב של חום וחשמל
2015+2014	פורום האנרגיה ה- 33 : הרפורמה במשק החשמל בישראל
2014	פורום האנרגיה ה- 32 : ניצול מיטבי של הגז הטבעי המקומי, לרבות סוגיית היצוא
2014	פורום האנרגיה ה- 31 : ביומסה לאנרגיה בישראל
2013	פורום האנרגיה ה- 30 : חשמל מאנרגיה סולארית בישראל
2013	פורום האנרגיה ה- 29 : עיר חכמה
2013	פורום האנרגיה ה- 28 : תחבורה יבשתית בת קיימא : היבטי אנרגיה וסביבה
2013	פורום האנרגיה ה- 27 : רשת חשמל חכמה כמנוע צמיחה לתעשייה בישראל
2012	פורום האנרגיה ה- 26 : ניצול פצלי שמן בישראל
2012	פורום האנרגיה ה- 25 : משק האנרגיה בישראל - חזון 2028
2012	פורום האנרגיה ה- 24 : אנרגית שמש לבנייני מגורים בישראל
2011	פורום האנרגיה ה- 23 : ניצול אנרגית הרוח בישראל
2011	פורום האנרגיה ה- 22 : תחנת כוח גרעינית בישראל
2011	פורום האנרגיה ה- 21 : שיפוץ אנרגטי של בניינים
2011	פורום האנרגיה ה- 20 : מערכות פוטו וולטאיות מחוברות-רשת למגזר הביתי והמסחרי
2010	פורום האנרגיה ה- 19 : חיסכון באנרגיה במערכות תאורה
2010	פורום האנרגיה ה- 18 : מיזוג אוויר סולארי בישראל
2010	פורום האנרגיה ה- 17 : השלכות חדירת גז טבעי למשק האנרגיה של ישראל
2010	פורום האנרגיה ה- 16 : רשת חשמל חכמה
2009	פורום האנרגיה ה- 15 : התייעלות אנרגטית ברשויות המקומיות בישראל
2009	פורום האנרגיה ה- 14 : רכב חשמלי והיברידי
2009	פורום האנרגיה ה- 13 : תחנות כוח סולאריות בישראל
2008	פורום האנרגיה ה- 12 : אנרגיה במשק המים
2008	פורום האנרגיה ה- 11 : בניה חסכונית באנרגיה
2008	פורום האנרגיה ה- 10 : השפעות בריאותיות וסביבתיות של השימוש בגז טבעי בישראל
2008	פורום האנרגיה ה- 9 : מקומה של ישראל בשוק הביו-אתנול העולמי
2007	פורום האנרגיה ה- 8 : ניהול ביקושים ואספקה
2007	פורום האנרגיה ה- 7 : ביו-דלקים להפקת אנרגיה
2007	פורום האנרגיה ה- 6 : חיסכון במערכות מיזוג אוויר
2007	פורום האנרגיה ה- 5 : צרכי המחקר באנרגיה חלופית בישראל
2007	פורום האנרגיה ה- 4 : אנרגיית השמש להפקת חום
2006	פורום האנרגיה ה- 3 : הפקת אנרגיה מפסולת
2006	פורום האנרגיה ה- 2 : מערכות משולבות ליצירת חום וחשמל (קוגנרציה)
2006	פורום האנרגיה ה- 1 : חשמל ממערכות פוטו-וולטאיות

# סביבה ואנרגיה



מוסד שמואל נאמן  
למחקר מדיניות לאומית

טל. 04-8292329 | פקס. 04-8231889  
הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל  
קרית הטכניון, חיפה 3200003  
[www.neaman.org.il](http://www.neaman.org.il)