



הטכניון

מכון טכנולוגי לישראל

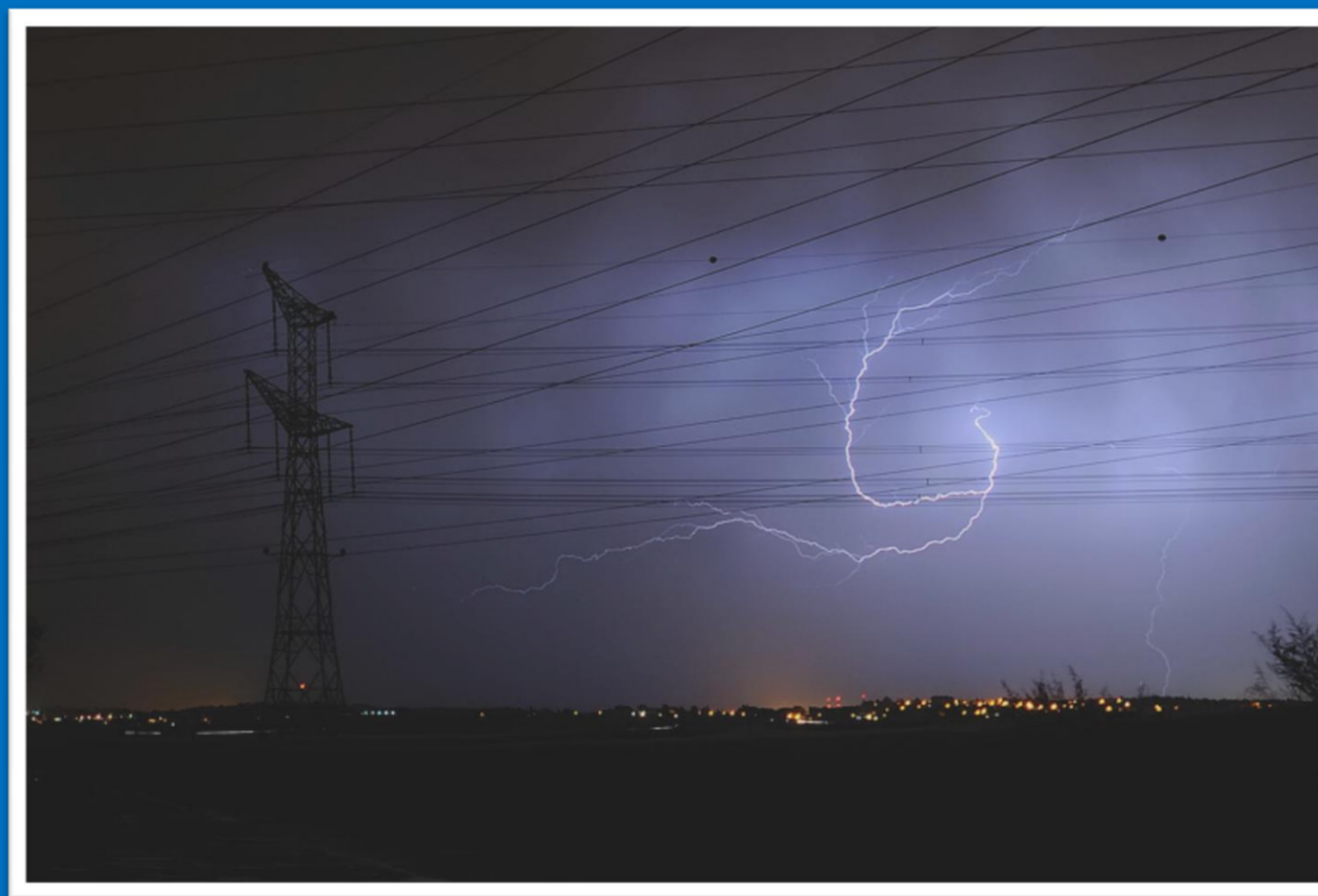


מוסד שמואל נאמן

למחקר מתקדם במדע וטכנולוגיה

סיכום והמלצות דיון פורום האנרגיה מס' 16  
מוסד שמואל נאמן, הטכניון

# רשת חשמל חכמה Smart grid



16

4.1.2010

# **רשת חשמל חכמה**

**סיכום והמלצות דיון  
פורום האנרגיה של מוסד שמואל נאמן  
הטכניון  
מיום 4.1.2010**

נערך ע"י:

פרופ' גרשון גרוסמן  
טל גולדרט

מרץ 2010



## רשימת משתתפי הפורום:

הפקולטה להנדסת חשמל, הטכניון	פרופ' אלכסנדרוביץ' אברהם
אגף מחקר ופיתוח, משרד התשתיות הלאומיות	ד"ר ארביב אברהם
אגף שימור אנרגיה, משרד התשתיות הלאומיות	בית הזבדי אדי
הרשות לשירותים ציבוריים – חשמל	בן יאיר משה
מוסד שמואל נאמן	גולדרט טל
אגף שימור אנרגיה, משרד התשתיות הלאומיות	עו"ד גרוס זאב
מוסד שמואל נאמן והפקולטה להנדסת מכונות, הטכניון	פרופ' גרוסמן גרשון – יו"ר
Better Place LTD	ד"ר וינשטוק דן
מדען ראשי, משרד התשתיות הלאומיות	ד"ר ולד שלמה
Leviathan Energy Inc.	ון צווארן ג'ו
רשות המיסים, משרד האוצר	יעקב ערן
אגף התקציבים, משרד האוצר	לבאות הרן
יאני בע"מ	מרינקו עמנואל
חברת החשמל לישראל	שגיב נוראני
משרד התשתיות הלאומיות, מינהל החשמל	עמוסי ציון
מכון בלאושטיין, שדה בוקר	פרופ' פיימן דוד
התאגדות מהנדסי חשמל ואלקטרוניקה בישראל	קויפמן אמיל
אגף שימור אנרגיה, משרד התשתיות הלאומיות	רודיק דוד
חברת החשמל לישראל	שגב צבי
חברת החשמל לישראל	שחף אלברט
IBM	שמי שלמה
חברת החשמל לישראל	שפר גרי
מוסד שמואל נאמן	פרופ' תדמור זאב

## הבעת תודה

המחברים מודים למרצים על המידע שהציגו ולכלל משתתפי הפורום על תרומתם לדיון הפתוח. תודות לכל המשתתפים אשר העבירו חומר רקע לקראת הדיון. תודות לד"ר אברהם ארביב ולד"ר דן וינשטוק על עזרתם בארגון הפורום.

צילום הכריכה באדיבות אמיר טרן. כל הזכויות שמורות.

עמוד

תוכן העניינים

5	פרק 1 : הקדמה
7	פרק 2 : רקע
9	פרק 3 : מידע בנושא רשת חשמל חכמה
27	פרק 4 : דיון
35	פרק 5 : סיכום והמלצות
37	פרק 6 : מקורות

**נספחים**

38	תוכנית פורום אנרגיה : רשת חשמל חכמה – 4.1.2010	נספח 1 :
----	--	----------

## פרק 1: הקדמה

מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם במדע וטכנולוגיה, 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 הדין בנושא רשת חשמל חכמה התקיים ב-4 בינואר 2010 בטכניון, והשתתפו בו מומחים בתחום מהסקטור התעשייתי, היזמי, האקדמיה והממסד הממשלתי והציבורי. המשתתפים בפורום, שנבחרו בקפידה עקב מומחיותם, מהווים, ללא ספק, קבוצה ייחודית ובעלת סטאטוס מקצועי ראשון במעלה בתחומי החשמל, הרשתות והאנרגיה באופן כללי.

בחלקו הראשון של המפגש הציגו חלק מן המשתתפים מצגות בנושא רשת חשמל חכמה על היבטיו השונים. מצגות המשתתפים נמצאות באתר מוסד ש. נאמן: <http://www.neaman.org.il/> (אירועים). בחלק השני התקיים דיון פתוח על המידע שהוצג ועל המסקנות האופרטיביות שיש להפיק ממנו.

תמצית הדיונים מסוכמת בדו"ח להלן, וכמו בדיונים הקודמים, הוא יוגש למקבלי החלטות במטרה להביא אל סדר היום את נושא פריסת ויישום הרשת החכמה בישראל, על כל השלכותיו ושימושיו. ליישום רשת חשמל חכמה צפויה השפעה על משק החשמל באופן כללי, הן מצד הצרכן והן מצד היצרן, על התייעלות אנרגטית, איכות הסביבה ועוד.



## פרק 2: רקע

פיתוח ויישום רשת חכמה (smart grid) לאספקת חשמל הינו אחד הנושאים ה"בוערים" במשק אנרגיה מודרני וזוכה לעדיפויות לאומיות ולהשקעות מסיביות, למרות שהנושא כולו עדיין בחיתוליו. רשת חשמל חכמה מספקת חשמל מיצרנים לצרכנים באמצעות טכנולוגיה דיגיטלית דו-סטריט, ומאפשרת לשלוט על מכשירים בבתי הצרכנים ומכונות במפעלים כדי לחסוך באנרגיה, להפחית את העלות ולהגביר אמינות ושקיפות. רשת חשמל מודרנית מסוג זה מקודמת על ידי ממשלות רבות כדרך טיפול בעצמאות האנרגיה, התחממות גלובלית וביטחון באספקה. מונים חכמים הם חלק של רשת חכמה, אך בעצמם אינם מהווים רשת חכמה. רשת חכמה כוללת מערכת ניטור חכמה העוקבת אחרי כל החשמל הזורם במערכת. היא עשויה לשלב שימוש בקווי תמסורת על-מוליכים להקטנת הפסדים, כמו גם את היכולת לשילוב חשמל ממקורות חלופיים כגון שמש ורוח. כאשר עלות החשמל בשפל, רשת חכמה יכולה להציע ללקוח להפעיל מכשירי חשמל ביתיים עתירי צריכה כגון מכונות כביסה, או תהליכים במפעל המסוגל לפעול בשעות כלשהן. בשעות השיא הרשת החכמה יכולה, בתיאום עם הלקוח, לכבות מכשירים נבחרים כדי להפחית את הביקוש.

עקרונית, רשת חכמה מהווה שדרוג של רשתות החשמל המקובלות שתפקידן בדרך כלל לספק באופן חד-סטרי חשמל ממספר תחנות כוח מרכזיות למספר רב של צרכנים. שדרוג זה מתבטא ביכולת לפעול בתנאים של אי-ודאות על מנת לנתב את אספקת החשמל בדרך אופטימאלית כדי להגיב למגוון רחב מאד של מצבים, לעודד את ממשתמשים בשעות השפל ולגבות פרמיה מצרכנים המשתמשים באנרגיה בשעות השיא. המפתח ליכולת זו היא מעבר אינפורמציה מהיר, מדויק ודו-כיווני בין כל חלקי הרשת. המצבים הדורשים תגובה מהירה יכולים להתרחש בכל חלקי הרשת – בשרשרת הייצור, בהולכה ובצריכה. מקור האירועים יכול להיות בסביבה (עננות פתאומית המקטינה אספקת חשמל סולארי או יום חם מאד המגביר את הביקוש למיזוג אוויר), בחלקי הרשת עצמם (תקלות פתאומיות, הצורך באחזקה יזומה) או בביקוש (שעות עבודה לעומת שעות מנוחה).

רשת חכמה אינה חייבת להתבסס על מבנה היררכי, המאפיין את הרשת הקונבנציונאלית "מן היצרן לצרכן". סביר לצפות כי יהיה זה מבנה המבוסס על צבירים (clusters) המחוברים ביניהם (שבתוכם יכולה להיות יכולת ייצור או אגירה), שכל אחד מהם בפני עצמו מהווה רשת חכמה ליצרנים ולצרכנים שבתוכו, בדומה לרשתות תקשורת או אינטרנט. כך למשל, יכולה להיות רשת חכמה ברמה של עיר, המשתלבת ברשת ארצית, או ברמה של מפעל, המשתלבת ברשת העירונית.

מדינות מסוימות הקדישו מאמצים ניכרים לנושא רשת חכמה וניתן ללמוד מניסיוןן. איטליה נחשבת למתקדמת בין מדינות אירופה עם פרויקט Telegestore<sup>1</sup> שהושלם בשנת 2005. פרויקט זה נחשב לראשון בקנה מידה מסחרי לבתי מגורים וחוסך כ-500 מליון אירו לשנה בהשקעה של כ-2.1 מיליארד אירו. בארה"ב, העיר אוסטין שבטקסס החליפה 1/3 מן המונים באיזור פעולתה למונים חכמים

<sup>1</sup> The NETL Modern Grid Initiative - Powering our 21st-Century Economy: Modern Grid Benefits, Conducted by National Energy Technology Laboratory for the U.S. Department of Energy, Office of Electricity Delivery and Energy Reliability, August 2007



וברשותה כ-200,000 יחידות המחברות ביניהן ברשת תקשורת<sup>2</sup>. העיר בולדר בקולורדו סיימה שלב ראשון בהתקנת רשת חכמה בכל העיר<sup>3</sup>. פרויקט דומה נערך במדינת אונטריו שבקנדה<sup>4</sup>.

---

<sup>2</sup> "Building for the future: Interview with Andres Carvallo, CIO — Austin Energy Utility". *Next Generation Power and Energy* (GDS Publishing Ltd.) (244).  
<http://nextgenpe.com/currentissue/article.asp?art=273073&issue=244>.

<sup>3</sup> Betsy Loeff (2008): "AMI Anatomy: Core Technologies in Advanced Metering". *Ultrmetrics Newsletter* (Automatic Meter Reading Association (Utilimetrics)).  
[http://www.utilimetrics.org/newsletter/index.cfm?fuseaction=Newsletter.showIssuetoPrint&Issue\\_ID=68](http://www.utilimetrics.org/newsletter/index.cfm?fuseaction=Newsletter.showIssuetoPrint&Issue_ID=68).

<sup>4</sup> Betsy Loeff (2007): Demanding standards: Hydro One aims to leverage AMI via interoperability.  
<http://www.elp.com/index/display/article-display/309361/articles/electric-light-power/meetering/2007/10/demanding-standards-hydro-one-aims-to-leverage-ami-via-interoperability.html>

### פרק 3: מידע בנושא רשת חשמל חכמה

בחלק זה של הדו"ח ניתנת תמצית המידע שהוצג ע"י חלק מן המשתתפים, כל אחד לפי בחירתו ומומחיותו. המצגות שהוכנו ע"י הדוברים מוצגות, כאמור, באתר של מוסד נאמן (<http://www.neaman.org.il>). מטבע הדברים, קיימת חפיפה מסוימת בין הדוברים השונים, אולם עורכי הדו"ח החליטו להביאם כאן כפי שהוצגו ובאותו סדר (ראה תכנית הפורום בנספח 1). מידע זה חשוב ומהווה בחלקו בסיס לדיון הפתוח שהתקיים לאחר מכן, כפי שמובא בפרק 4.

#### ד"ר שלמה ולד – משרד התשתיות הלאומיות: רשתות חכמות כנדבך מרכזי במשק האנרגיה

נושא הרשת החכמה אינו תחום צר, כפי שניתן להסיק מדברי אנשי מקצוע מסוימים. אמנם יש מעט מאוד אנשים בארץ שעוסקים בו, אבל הנושא עצמו הוא רחב מאוד. הוא אחד מארבעה תחומי מפתח שהוגדרו על ידי משרד התשתיות כבעלי עדיפות לאומית בתחום האנרגיה. אנו רואים את הרעיון של רשת החשמל החכמה כ"אינטרנטיזציה" של מערכת החשמל –

- פריסה מטריציאית במקום היררכית
  - כל נקודת צומת יכולה להיות מקור ו/או צרכן
  - אפשרות העברה וניתוב של הזרם במסלולים שונים
  - אפשרות העברה וניתוב של אינפורמציה במסלולים שונים ובנוסף על העברת האנרגיה
  - אפשרות הפעלת אפליקציות רבות ע"ג הרשת
- תועלות של רשת כזו יכולות להיות:
- ניהול משאבים חכם - "החלקת" עקום הצריכה, ייצור חשמל בהספק אופטימאלי, הפחתת הצורך באגירה...
  - שילוב טבעי של יצרנים מגוונים, בפרט של חשמל מאנרגיה מתחדשת
  - תכנון יעיל של צריכת החשמל להפחתת עלויות הצרכנים (תעריפים שעתיים בשילוב עם מדידה חכמה ויכולת שליטה רציפה בצריכה ובמקורות...)
  - ביטחון האספקה - גיבוי מובנה, שיפור שרידות המערכת על-ידי ביטול צווארי בקבוק בנתיבים הכרחיים
  - גיבוי למערכות תקשורת
  - ועוד...

הרשת תאפשר מנייה ומעקב, ניהול צריכה, ועוד תועלות רבות, אשר החשובה ביותר מביניהם היא הפחתה כוללת של הצריכה וניצול נכון יותר של משאב החשמל. שימוש מושכל כזה מקנה ביטחון אספקה.

התשתית הפיזית – קווי ההולכה והחלוקה - דורשת חידושים והחדרת דיסציפלינות שלא קיימות היום במערכת החשמל הרגילה – מיתוג מהיר, זרם ישר או חילופין עם סנכרון, תיאום והעברת אינפורמציה על אותה רשת או רשת תקשורת צמודה, פיתוח אפליקציות למפעיל ולצרכן ומתן האפשרות לשלוט במערכות.

העברת הנתונים – תקשורת ובקרה – נדרש פרוטוקול אוניברסאלי לתקשורת וניהול הרשת, ציוד תקשורת, מנייה ובקרה על הצריכה.

היישומים והשירותים הצפויים הם בעיקר בתחום האופטימיזציה וניהול המשאבים לצרכנים אבל יש לזכור כי גם עם הקמתה של רשת האינטרנט לא היה ברור מהן הציפיות, והדמיון לא יכול היה לשער לאן רשתות חכמות כאלו מתפתחות. אנו עדיין לא מסוגלים לעכל את כל מה שניתן יהיה לעשות עם יישומה של רשת החשמל החכמה. זה חידוש בתפיסת אספקת החשמל. לישראל, כעילוי עולמי, יש המון מה לחדש ולתרום בתחום, במיוחד בנושאים של זרם חזק, רכיבי מוליכי על, פרוטוקולים ואפליקציות. מדינת ישראל יכולה לבחור להיות מובילה, ולהיכנס לנושא כבר עכשיו. אני מקווה שאחת התובנות שתצא מדיון זה היא ההבנה כיצד ניתן למנף במדינת ישראל את הנושא לכדי פרויקט לאומי.

**ד"ר אברהם ארביב - משרד התשתיות הלאומיות:** רשתות חכמות כנדבך מרכזי במשק האנרגיה

בסיעור מוחות, אשר נערך במסגרת פורום בינלאומי התבקשו אנשים להגדיר מהי רשת חכמה. הנושאים שהועלו היו:

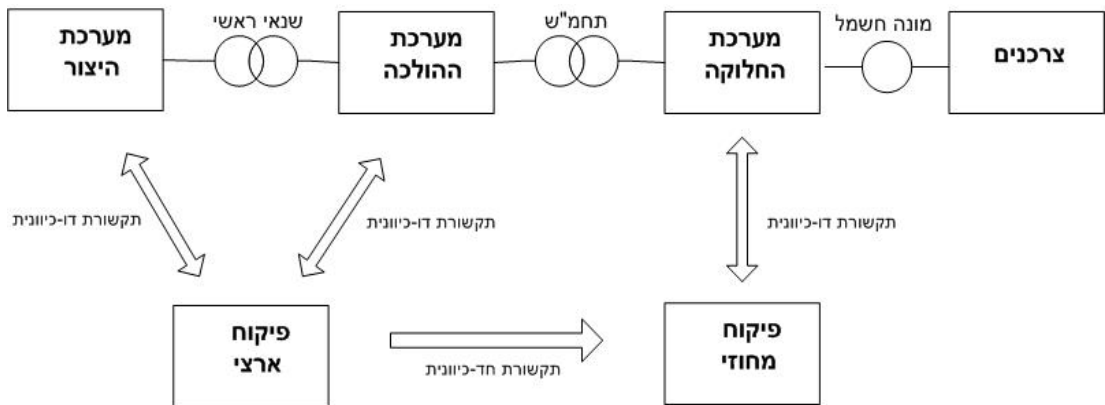
- תשתית מנייה מתקדמת
- תגובה לביקושים (הצעת תמריצים ללקוחות תמורת צמצום צריכה בשיא)
- אופטימיזציה (אמינות, הגנה ושימוש יעיל של נכסים)
- ייצור מבוזר
- אגירה ברמת הרשת
- מערכות בקרה מתקדמות:
  - לניהול אנרגיה- (EMS (Energy Management System
  - לניהול חלוקה- (DMS (Distribution Management System
  - לניהול מנייה- (MDM (Metering Management System
- התאמה לבתים חכמים (רשתות תקשורת ביתיות ומערכות ניהול אנרגיה ביתיות)
- התאמה לטעינת רכב חשמלי (PHEVs) וגם לקבלת חשמל מרכב חשמלי (V2G)

בקול הקורא האחרון של האיחוד האירופי הוגדר נושא של רשתות אנרגיה חכמות. הוקדשו לנושא 20 מיליון אירו. מתוך 14 הצעות שהוגשו בנושא זה נבחרו 6. ניתן ללמוד מכך שהנושא הוא חם ובהתפתחות, יש לא מעט כסף המוקדש לתחום זה והתחרות על הנישה בינתיים אינה גדולה. יש אפשרות גם למי שעוסק בנושא בארץ היום לנצל כסף גדול שמוקדש לתחום באירופה.

**צבי שגב – חברת החשמל לישראל:** תועלות רשת חשמל חכמה בתחום תכנון ותפעול רשת חלוקה

נושא הרשת החכמה מדובר רבות ונמצא בחדשות, אבל יש שני דברים שאינם ברורים – כמה זה עולה וכמה זה שווה. באופן איכותי ניתן לומר מספר דברים מרכזיים על נושא שווי הרשת החכמה. שרשרת החשמל בנויה כך שהצרכן הוא החשוב ביותר - כל הרשת בנויה במטרה לשרת אותו.

## איור 1 - שרטוט סכמטי של רשת החשמל

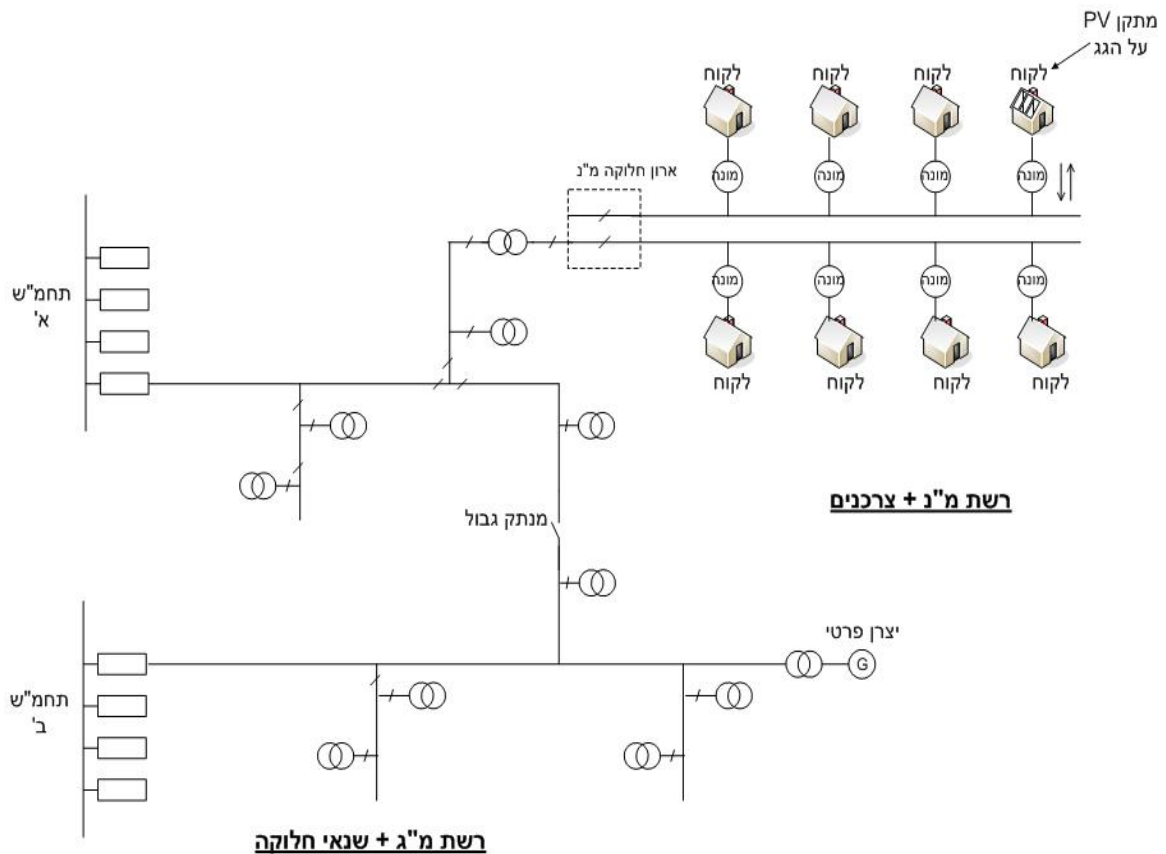


כבר היום קיימות מערכות תקשורת ברשת, ממגוון סוגים ומטרות תפעוליות. העברת מידע דו-כיוונית קיימת בפיקוח הארצי, אשר מקבל מידע מכל תחנת כוח. לפיקוח הארצי יש פיקוד מרחוק על כל תחנות הכוח ועל מערכות ההולכה. בפיקוח המחוזי יש שליטה על מערכת החלוקה, והוא מקבל מידע חד-כיווני גם מהפיקוח הארצי. במערכת החלוקה יש תקשורת דו-כיוונית בסיסית. תכנית הפיתוח של חח"י כוללת פיקוח מרחוק על 5000 מנתקים. כיום יש 3000 מפקדים, ועד 2015 תושלם התכנית. בנקודות הצומת הקריטיות ביותר הותקנו כבר מנתקים מפקדים מרחוק. הצרכנים, נכון להיום, אינם מתוקשרים לרשת. נכון להיום כל צרכן לעצמו. יש התחלות של ניהול עומס תעריפי בדרכים שונות – מוני תעו"ז או הסכמים עם לקוחות גדולים להשלת עומס או גנרטורים. כל זה קורה תמורת תמריץ תעריפי ומאפשר לחברת החשמל לחפות על מצב משברי בצריכה.

מתוך כלל שרשרת החשמל נתרכו בתועלות של שדרוג רשת החלוקה. בארץ מתוחים קווי מתח גבוה בהיקף של 22 קילו וולט, במרכזי הערים קווים של 13 קילו וולט, בנגב הדרומי ויו"ש קווים של 33 קילו וולט. הקווים הללו משובצים בשנאים. לחברת החשמל יש כ-2500 לקוחות המקבלים מתח גבוה ישירות. בין קווי המתח הגבוה הנ"ל יש מנתקים שהם במצב הרגיל פתוחים. המשמעות היא שבמצב הפרעה ניתן להעביר קטעי רשת מקו אחד למשנהו. אם יש חיבור מרחוק ניתן לבצע זאת ישירות מהפיקוח, ואם לא, שולחים צוותים ומבצעים שינוי ידני. ישנם כ-2,450,000 לקוחות במתח נמוך המוזנים משנאים, כאשר לכל שנאי יש ארון חלוקה. ממנו יוצאים קווי מתח נמוך לרחובות הערים ואזורי התעשייה, ומהם מתחברים למוני הלקוחות. מערכת זו מתוארת באיור מספר 2, כאשר ניתן לראות גם באיור כי ייתכן לקוח עם מתקן PV על הגג. אמנם ייצור חשמל פרטי (יח"פ) אינו נפוץ בינתיים, אבל יש מקומות שבהם כן ניתן למצוא יצרנים רבים (על גגות רפתות למשל).

חוות רוח כדוגמת החוות הקיימות באירופה אין לנו; יש יצרן אחד בלבד ברמת הגולן ואין גם פוטנציאל גדול ליישום אנרגית רוח בארץ. ידוע כי יש פוטנציאל גדול לניצול אנרגית שמש אבל יש בעיה של שטחים. יצרנים קונבנציונאליים בדיזל כמעט אין לנו. יש פה ושם מתקנים של הפקת אנרגיה מפסולת (פ"א). המתקנים הקיימים כיום מחוברים ברובם לרשת המתח הגבוה.

## איור 2 - רשת החלוקה במתח גבוה ונמוך



הרשת ה"לא חכמה" הקיימת כיום תישאר גם בעידן הרשת החכמה. הרשת החכמה היא נדבך שנוסף על הרשת הקיימת, אשר יאפשר להוציא מהתשתית הקיימת יותר ממה שניתן היום. הרשת החכמה אינה מחליפה את הרשת הקיימת, אלא פשוט מעבירה חשמל ומידע יותר טוב בשני הכיוונים. מדוע אנו לא מרוצים מהרשת כיום? הרשת הנוכחית מתוכננת להולכה חד סטרית. כאשר תוכננה והוקמה הרשת הזו זו הייתה הפילוסופיה, וזה כמובן לא מתאים למצב שבו יש ריבוי יצרנים. קווי החשמל ברשת אמנם מתחלפים, אבל הרשת לא מתופעלת כדו סטרית כי לא תוכננה כך. יש לזה השלכות בעיקר על נושא של מערכות הגנה – מפסק זרם או נתיך יש להם כיווניות שצריכה להיות מכוונת לצד ההזנה. חברת החשמל מחויבת לדאוג שרמות הזרם והשהיות הזמן יהיו טובות, ולא יהיו ניתוקים לא רצויים. האמצעים כיום, במצב של רשת חד סטרית הם פשוטים וזולים. ברגע שאין הבטחה של כיוון הזרימה יש להביא את זה בחשבון במערכת ההגנה וצריך לדעת לנתק בשני הכיוונים – יותר מתוחכם ויותר יקר אבל גם בעל תועלת. מבחינה בטיחותית יש כיום בעיה לחברת חשמל – על מנת לטפל בקו או תקלה חברת חשמל מנתקת את הזרם וניתן לדעת בוודאות כי הרשת לא חיה. ברשת העתידית יהיה צורך בניתוק דו כיווני. הפיקוח הארצי יצטרך לשאוב כל הזמן מידע מרשת החלוקה כדי לדעת מה קורה בזמן אמת. יתקיים משא ומתן וירטואלי על ההספק והאנרגיה הנמכרים לכל לקוח ולקוח. יהיה צורך לקבל אינדיקציה עבור כל ענף וענף של הרשת בכל רגע נתון. ברשת שבה יש אלפים או עשרות אלפים של מתקנים מייצרי אנרגיה לא יתכן שלא תהיה שליטה מרכזית וזה אפשרי רק על ידי מערכת תקשורת נרחבת ומערכת ניהול רציפה.

בעיות נוספות הקיימות ברשת הנוכחית הן :

1. חיבור מקורות אנרגיה מבוזרים (בעיקר מתחדשים) לרשת החלוקה משפיע לרעה על איכות המתח.
2. המידע בביקוח המחוזי על המתחים והזרמים בחוליות שונות של רשת מתח גבוה הוא בלתי מדויק.
3. אין מידע כלל על מתחים וזרמים ברשת המתח הנמוך.
4. כיום מתבצע ויסות הספק ריאקטיבי באופן פרימיטיבי – סוללות קבלים מופעלות ע"י שעון.
5. ניהול עומס תעריפי אצל צרכנים גדולים בעיקר אינו פותר בעיות עומסי שיא ברשת החלוקה. נדרש ניהול עומס גם אצל הצרכנים הקטנים (אך רבים).
6. אין בסיס נתונים מדויק לתכנון פיתוח רשת החלוקה.

הרשת החכמה אמורה לכלול את המרכיבים הבאים :

- תקשורת דו-כיוונית למוני-החשמל החכמים אצל כלל הלקוחות והיצרנים המבוזרים עם יכולת הפסקה מלאה/חלקית והגבלת צריכה מרחוק.
- תקשורת דו-כיוונית ופיקוד מרחוק של כל מנתקי העומס ברשת החלוקה - מתח נמוך וגבוה.
- מערך מחשוב נתונים מתקדם לעיבוד מסה אדירה של נתונים המתקבלים מן המונים ועיבודם בהתאם לסכימה הנוכחית של המערכת.
- אמצעי אגירת אנרגיה עם שליטה מרחוק.
- בתים חכמים עם יכולת שליטה בתקשורת על מעגלי החשמל המזינים מכשירים עתירי אנרגיה, בהסכם עם הלקוח.

התועלות הצפויות מהרשת החכמה בתחום התפעול :

- חישוב LOAD-FLOW מקוון בכל האלמנטים של רשת החלוקה המסועפת לרבות הספקים האקטיביים.
- שליטה תפעולית מקוונת על המתחים בכל הצמתים של רשת החלוקה ובהדקי הלקוחות.
- ידע מיידי מדויק על הפרעות ברשת החלוקה ופעולה מהירה לבידודן, והחזרת האספקה ללקוח באמצעות ניתוב מסלול אחזקה חליפי ושליחת צוותי עובדים לתיקון ההפרעה.
- יכולת להעביר סיגנל ללקוח על עלות חשמל רגעית לצורך ניהול עומס מצד הביקוש.
- ניהול ביקוש רציונאלי בשעת מחסור בכושר יצור, ניתוק סלקטיבי של מכשירים לא חיוניים.
- ויסות מתח מקוון ברשת החלוקה באמצעות ויסות יצור ריאקטיבי בסוללות קבלים וגנראטורים פרטיים מבוזרים.
- ניהול מערכת טעינה של רכבים חשמליים.

התועלות הצפויות מהרשת החכמה בתחום התכנון :

- מידע מדויק על עקומות העומס הפרטניות של לקוחות, קווי חלוקה ושנאי חלוקה.
- מידע סטטיסטי על מקדמי התלכדות בין עומסי השיא של לקוחות, קווים, שנאים וכד'.
- יכולת לביצוע חישובים מדויקים של איבודי פסגה ואיבודי אנרגיה בקווים ובשנאי חלוקה לצרכי אופטימיזציה של השקעות ואיבודים.
- מידע מדויק על ניצול רכיבי הרשת ורמת העתודה לפיתוח עתידי.
- אפשרות לתכנון מדויק של יציאות מתח-גבוה מתחמ"ש (תחנת משנה) עתידית ורמת העמסתה.
- מידע מדויק על שיעור תקלות ברכיבי מערכת החלוקה ומשכן, לצורך חישוב מדויק של רמת האמינות בחלופות לפיתוח.

המידע על מה קורה ברשת יהיה מדויק ועדכני כי היום יש לנו רק בדיקות מדגמיות. כנ"ל לגבי מקדמי התנגדות, נוכל לבצע אופטימיזציה של מיתוג כדי לאבד כמה שפחות אנרגיה בכמה שפחות השקעה.

#### **גרי שפר – חברת החשמל לישראל: מנייה חכמה כתשתית לרשת חכמה**

בטרם נדון במנייה חכמה ובמהות הפרויקט בחח"י אני מבקש להזכיר כי רשת חכמה חייבת להישען על תשתית הנדסית ראויה ונכונה. אי אפשר שלא להתפעל מן ההישג ההנדסי שברשת קונבנציונאלית, המעבירה כמויות אדירות של חשמל למרחקים גדולים, ביעילות, באמינות ובבטיחות, ואין מקום להשוואה עם האינטרנט בכל הנוגע לדרישות לזמינות, בטיחות וכדומה.

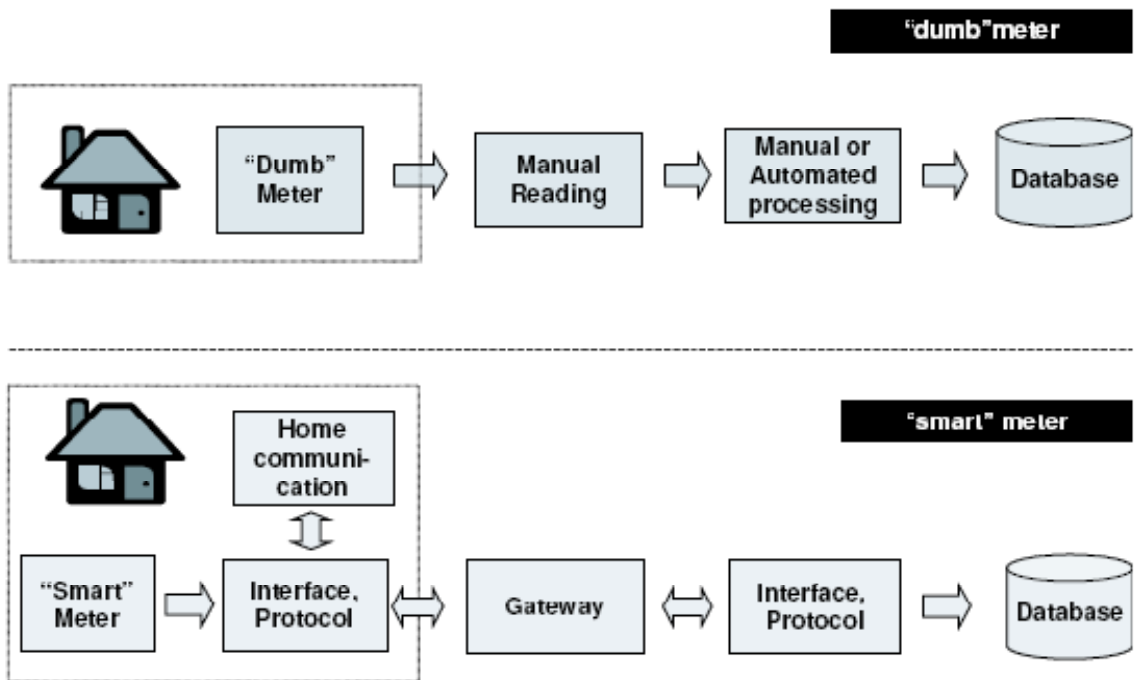
מנייה חכמה היא קונספט ניהולי המבוסס על מוניים ומערכת מידע המעבדת את המידע, וביניהם מערכת תקשורת המקשרת בין שניהם. התחכום של המערכת הוא ביכולת להעביר מידע גם ללקוחות הקצה וגם לבעלי העניין במערכת החשמל. בצורה כזו ניתן להגיע לתועלות המערכת, כפי שפורט על ידי קודמי הנושא של מנייה חכמה ברשת תופס מקום מכובד - 3.4 מיליארד דולר הוקצבו על ידי הנשיא אובאמה לפרויקטים ברשת חכמה, והרוב המוחלט של הפרויקטים הזוכים כוללים מנייה חכמה. מכך ניתן ללמוד מה הכיוונים אליהם שואפת הרשת החכמה – אינטגרציה של כל החיישנים והמנתקים עם מערכות הייצור וכן בינם לבין עצמם, ומצד שני התפיסה שעל פיה הלקוח אינו פסיבי, המפעיל את המתג וסומך על אספקת חשמל רציפה, אלא לקוח פעיל בעל יכולת השפעה הדואג לקבל את מה שהוא צריך, אך יש בידו כלים לעשות זאת בתבונה, תוך התייעלות אנרגטית וחסכוניות לו ולמשק הלאומי.

רמת הביצועים של המערכת תלויה כמובן ברמת השקעה שתהיה בה - בבסיס המערכת יש מונה עם יכולות מסוימות. על פי יכולות אלו נקבעת ה"חכמה" של המערכת. המונה הרגיל – מצריך קריאה ידנית לצרכי חיוב. מונה חכם מאפשר העברת מידע אל הבית, קבלת מידע ממנוי גז ומים והעברה מרוכזת של כל המידע למרכז המנייה והחיוב, ועל ידי כך מושג חסכון בתשתיות. בעולם קיימת כבר תקינה למערכות מסוג זה; למשל בהולנד יש תקינה שניתן "לגיייר" (NEN8130). תקן זה מגדיר במדויק מה נדרש ממערכת מניה חכמה:

- תרומה לתהליכים ניהוליים על ידי אספקת קריאות מונה אמיתיות תקופתיות ועל פי דרישה, מרחוק
- עידוד ערנות הלקוח לצריכת אנרגיה ותמרוץ לחיסכון

- שינוי מרחוק של מגבלות עומס, באופן גורף או פרטני
- ניתוק גורף או פרטני של לקוחות
- עבודה עם תעריפים דיפרנציאליים
- תשלום מראש
- ניטור של מערכות החלוקה

### איור 3 - ההבדל בין מונה חכם למונה רגיל



הנושא של תשלום מראש התחיל באנגליה לפני חמישים שנה או יותר. המשמעות של הסדר כזה היא לשלם תשלום קבוע מראש עבור כמות מסוימת של חשמל, וכאשר משתמשים בכל הכמות הידועה, לשלם שוב עבור כמות החשמל הבאה (בדומה לכל מוצר צריכה אחר – משלמים על רכישת המוצר, ולא לאחר השימוש). זה הגיוני משום שהחשמל הוא למעשה שווה ערך למוצר, ואין שום סיבה לשלם עליו בדיעבד. זה מאפשר כמובן מעקב של הלקוח אחר השימוש שלו בחשמל והוכח כבר שמעקב כזה מעודד חיסכון והתייעלות. מנגנון כזה עדיין תקף כי יש אנשים רבים שלא נוח להם לשלם אחת לחודשיים או שלושה, ומעדיפים לשלם באופן קבוע תשלום נמוך. במוני תשלום מראש רואים בעין את צג הצריכה והניסיון מראה שהצריכה יורדת ב 20-30%.

הטכנולוגיה, על פי הדוגמה של מדינת ויקטוריה באוסטרליה, נקבעה על פי דרישות מינימום מסוימות:

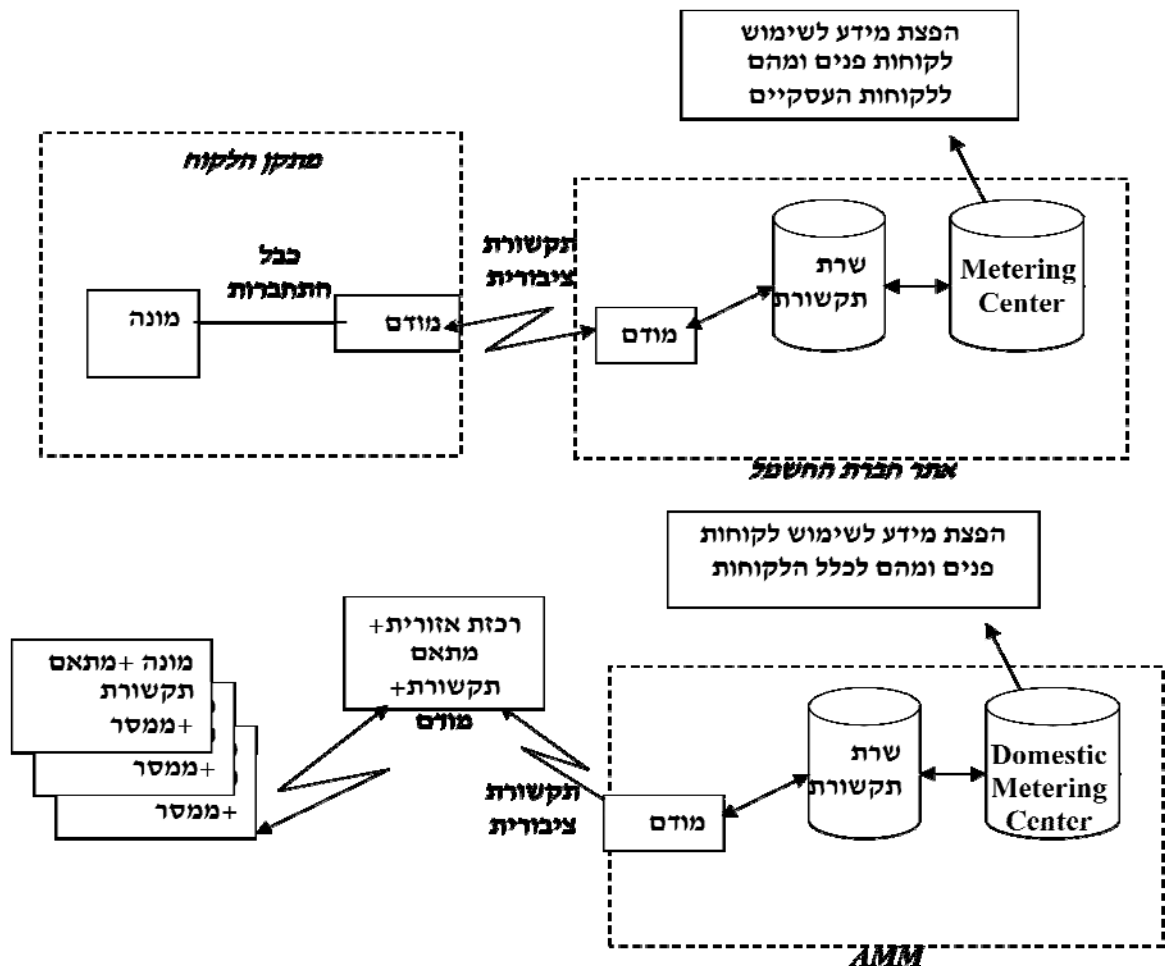
- מטרולוגיה כנדרש מכל מונה חשמל
- קריאה מקומית ומרחוק
- ניתוק וחיבור האספקה



- סנכרון שעון הזמן
- ניהול עומס ע"י הלקוח וע"י חברת החשמל
- התראה על אבדן מתח אספקה
- רישום איכות האספקה ואירועים נוספים
- הגבלת הספק (ליבוא וליצוא)
- תמיכה במערכת תקשורת ביתית

ההבדל בין לקוחות עסקיים לביתיים הוא בעיקר בפיזור. הלקוחות העסקיים מפוזרים פה ושם. כאשר מתקשרים מול לקוחות עסקיים מדובר על לקוחות מרוחקים. כאשר מתקשרים את המערכת כולה, יש נקודות תקשורת בכל מקום על פני כל המערכת. האינטרס לפרויקט מנייה חכמה הוא לאומי, עסקי וגם של הלקוח.

איור 4 - ההבדל בין לקוחות עסקיים לכלל הלקוחות

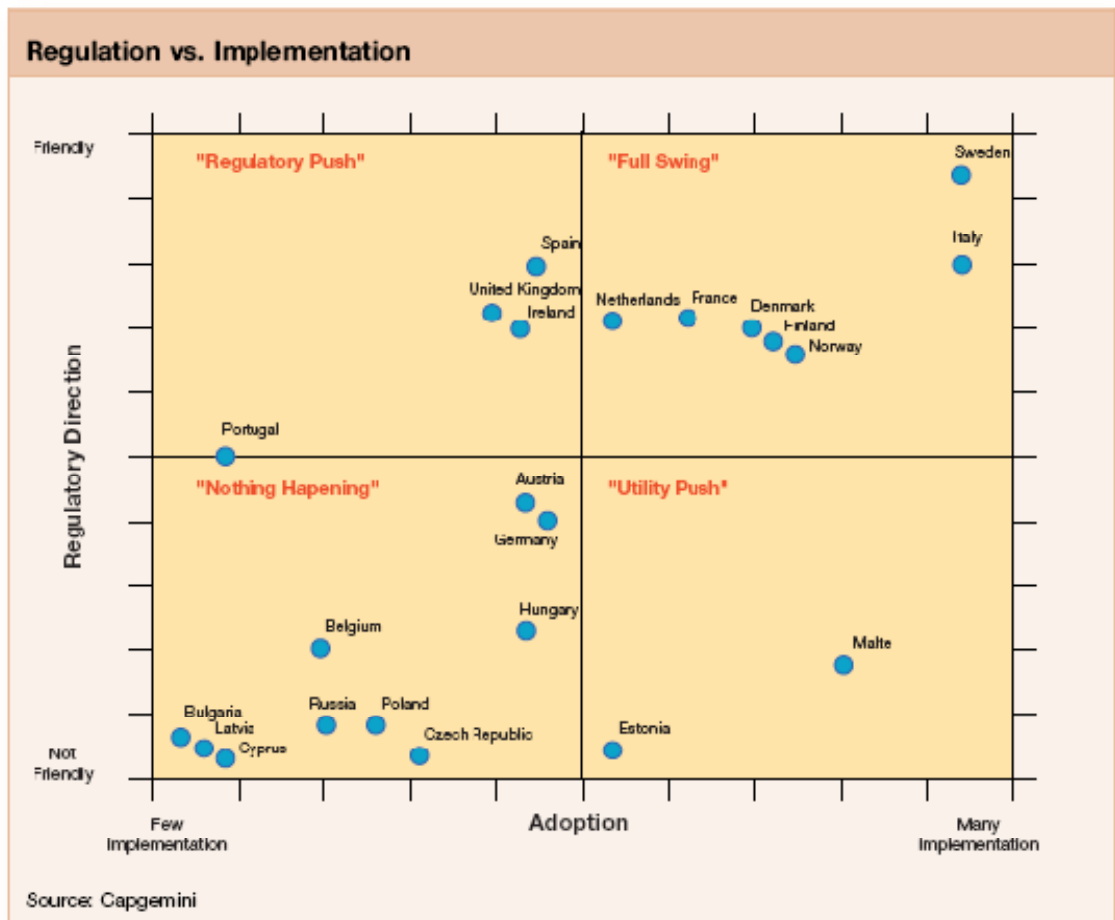


חשוב לשים דגש על תשתית חכמה - AMI (Advanced Metering Infrastructure), ולא רק קריאה חכמה - AMR (Advanced Meter Reading).

באיור מספר 5 ניתן לראות את התקדמות הכנסת הרשתות החכמות במדינות שונות כאשר בציר Y מוצגת רמת הדחיפה של הרגולטור, ואילו בציר X – שיעור היישום בשטח.

ניקח לשם דוגמא את חברת החשמל והגז של פילדלפיה (PECO) – רשת דומה לרשת של ישראל בהיקפיה ובמספר הצרכנים שלה. החברה משרתת 1.7 מיליון צרכני חשמל ועוד כ-0.5 מיליון צרכני גז, על פני שטח שירות של 2400 מיל מרובע. החברה התקינה 2.2 מיליון מונים חכמים ללקוחות קטנים ועוד 3000 ללקוחות גדולים, המחוברים ביניהם ברשת תקשורת. ההתקנה נעשתה באופן הדרגתי במהלך השנים 1999-2003 והושגו יתרונות רבים.

איור 5 - מצב הכנסת רשתות חכמות במדינות שונות



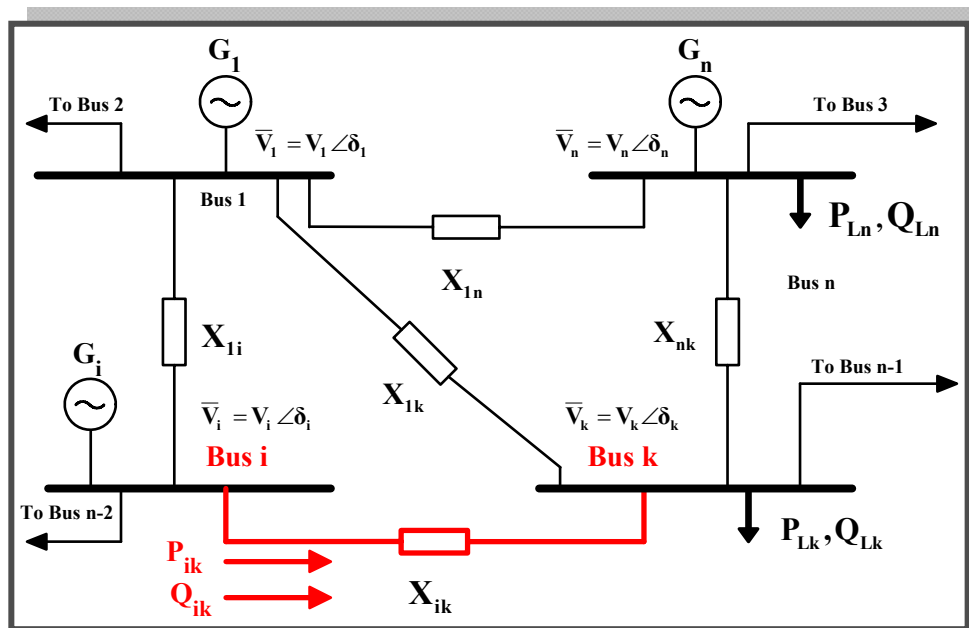
התועלות מהקמה של רשת חכמה הן ברמה הלאומית ואין שום ספק שמשרד התשתיות ורשות החשמל צריכים להיות מעורבים ולהכיר את הנושא. היתרונות לחברת חשמל הם רבים (מגוון אופציות לתיערוף, מכירת שירותי התייעלות אנרגטית, פחות תלונות על חשבונות מוטעים, פחות חובות אבודים, ניטור מתח ופאזות ברשת, שיפור אמינות ויציבות המתח, טיוב ניהול נכסי הרשת וייעול התשתיות ע"י עיבוד וניתוח המידע הזמין, ייעול שירות המנייה, ניתוק, חיבור ותחזוקה מרחוק, איכון מקום תקלה, קיצור משך השיקום, שיפור איכות השירות ושיפור בזיהוי איבודים) וכמובן יתרונות ללקוחות (מודעות וחיסכון, חשבון מדויק ואמין, מידע זמין ברמה יומית לפחות, אפשרויות תיערוף מגוונות, שיפור השירות, הגנה על לקוחות פגיעים, ניהול הצריכה, מיקרו גרציה ואפשרות לצירוף אספקות נוספות).

מבחינת תמחור המניה החכמה לכלל הלקוחות, ניתן להעריך סדר גדול של \$500 לנקודה ללקוח. במסגרת פרויקט המנייה החכמה ח"י מתקינה מונים מקוונים בכ- 6000 אתרים של לקוחות עסקיים גדולים, אשר אחראים לכ- 50% מצריכת החשמל הכוללת. הפרויקט מורכב ממערכת הכוללת את המונים המותקנים במערכות המדידה הקיימות (שהם רשמים רציפים), תוכנה תוכנת ניהול ועיבוד נתונים, תשתיות, ממשקים, תקשורת ומערכות מידע. לוח הזמנים של פרויקט זה הוא לסיים את הפרישה בסוף השנה הזו.

**פרופ' אברהם אלכסנדרוביץ, הפקולטה להנדסת חשמל, הטכניון:** בקרת זרימת ההספקים ברשת החשמל החכמה

נציג כאן אמצעים מודרניים המאפשרים לבקר זרימת הספקים (עיוור ופעיל) ברשת. איור מספר 6 מראה דוגמא של מערכת הספק גדולה מאוד.

**איור 6 – תאור סכמטי של מערכת הספק**



באיור מתוארות שלוש מערכות ייצור  $G$ , צרכנים המאופיינים ב-  $P_L$  ו-  $Q_L$  וקווי תמסורת. כאשר המערכת במצב סטטי תקין התדירות היא קבועה. המתחים אינם זהים, היות וישנם מפלי מתח בקווים. לכל אחד מהמתחים יש זווית פאזה אופיינית, וקיים הפרש זוויות בין המתחים השונים. במערכת כזו זורמים שני סוגי הספקים – הספק פעיל ( $P_{ik}$ ) והספק עיוור ( $Q_{ik}$ ). ההספק הפעיל הזורם בקו הוא

פונקציה של מתח הפסים  $V_i$  ו-  $V_k$ , האימפדנס של הקו  $X_{ik}$  והזווית  $\delta_{ik} = \delta_i - \delta_k$ .  
הספק הפעיל הזורם בקו נקבע ע"י הקשר:

$$P_{ik} = \frac{V_i \cdot V_k}{X_{ik}} \cdot \sin \delta_{ik}$$

ההספק העיוור הזרם בקו נקבע ע"י הקשר:

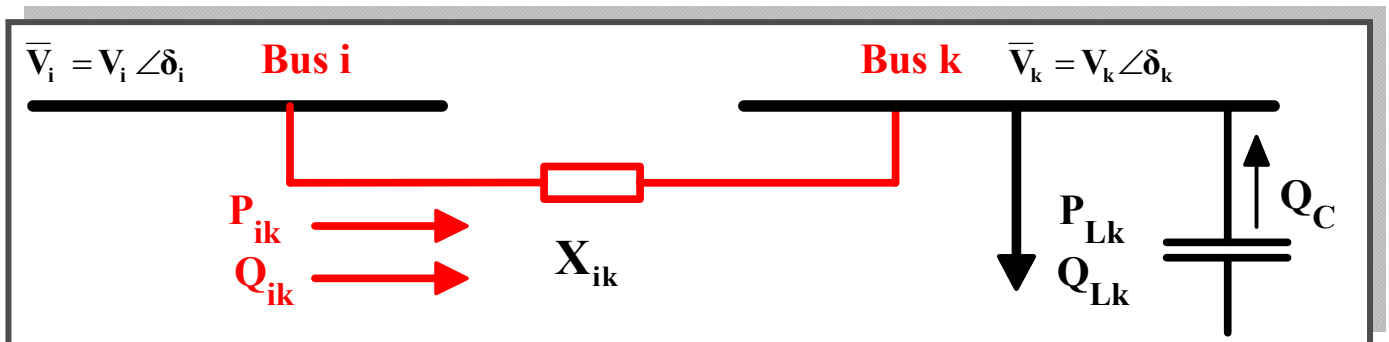
$$Q_{ik} = \frac{V_i}{X_{ik}} \cdot (V_i - V_k \cos \delta_{ik})$$

אפשרויות בקרה של זרימת הספקים בקו:

1. שינוי היגב (impedance) בקו
2. שינוי זווית בין המתחים
3. שינוי אמפליטודה במתח פס צבירה

על מנת לשמור על מתח בגבולות מסוימים נוכל לספק הספק עיוור ישירות בפס הצבירה. מהלך כזה יאפשר שחרור של הקו מההספק (הזרם) העיוור ולפיכך לאפשר הגדלת זרימת ההספק הפעיל. הפיתרון הקלאסי הוא לחבר סוללת קבלים, אשר תספק את ההספק העיוור במקום לצרוך אותו מהרשת.

**איור 7 - וויסות מתח על ידי הוספת מקור הספק עיוור (סוללת קבלים – פתרון קלאסי)**



הספקו של הקבל – מתח בריבוע חלקי אימפדנס של הקבל (רגיש מאוד לשינויי מתח).

$$Q_C = \frac{V_k^2}{X_C}$$

סוללות קבלים מתחברות בצורה דיסקרטית.

**שיטות בקרה מודרניות באמצעות התקני אלקטרוניקת הספק:**

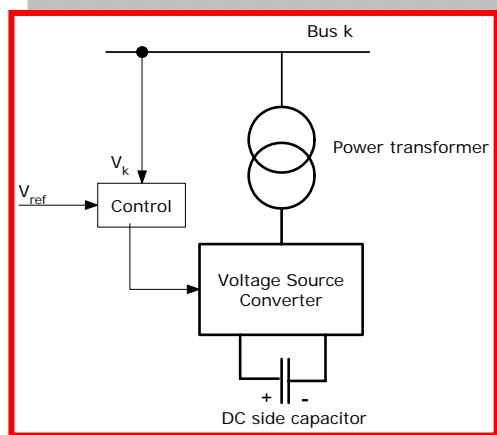
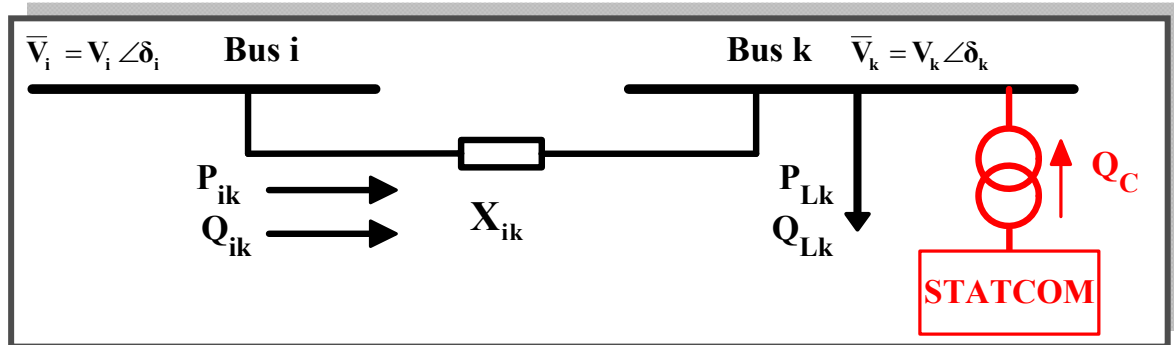
שיטות מודרניות לבקרת זרימת הספקים בקו באמצעות התקני אלקטרוניקת הספק:

1. מפצה סטטי סינכרוני (Static Synchronous Compensator (STATCOM)
2. מפצה סטטי סינכרוני טורי (Static Synchronous Series Compensator (SSSC)
3. בקר זרימת הספקים משולב (Unified Power Flow Controller (UPFC)

## STATCOM (מפצה סטטי סינכרוני)

מחברים למערכת במקביל לקו (במקום סוללת קבלים). מספק הספק עיוור בפס הצבירה (משחרר את הקו מזרימת הספק עיוור), ושומר על מתח פס הצבירה.

איור 8 - מפצה סטטי סינכרוני

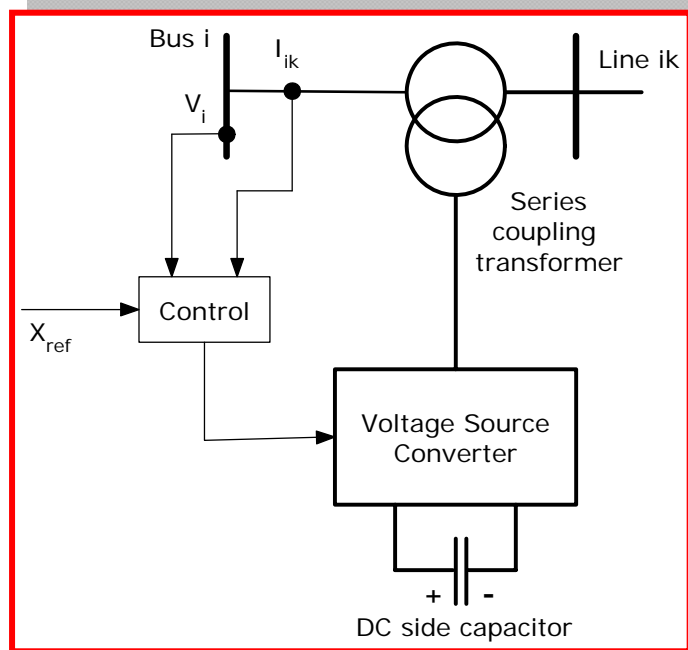
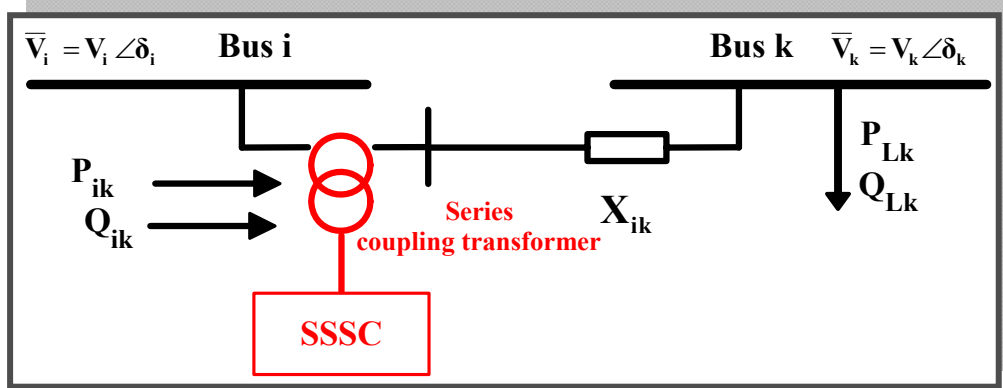


ההתקן מתנהג כתלות בזוויות הצתה כסליל או כקבל. הזרם שמוזרם לרשת יהיה פונקציה של הפרש המתחים שבין מתח הרשת לבין מתח המפצה. מפצה סטטי סינכרוני מתנהג כקבל בעל ויסות רצוף של הקיבול, מתנהג כסליל בעל ויסות רצוף של ההשראות ובעל תגובה מיידית לאות הבקרה.

מפצה סטטי טורי – SSSC (מחובר בטור לקו)

מאפשר שינוי האימפדנס  $X_{ij}$  ומשפיע על ההספק הפעיל הזורם בקו.

איור 9 - מפצה סטטי טורי

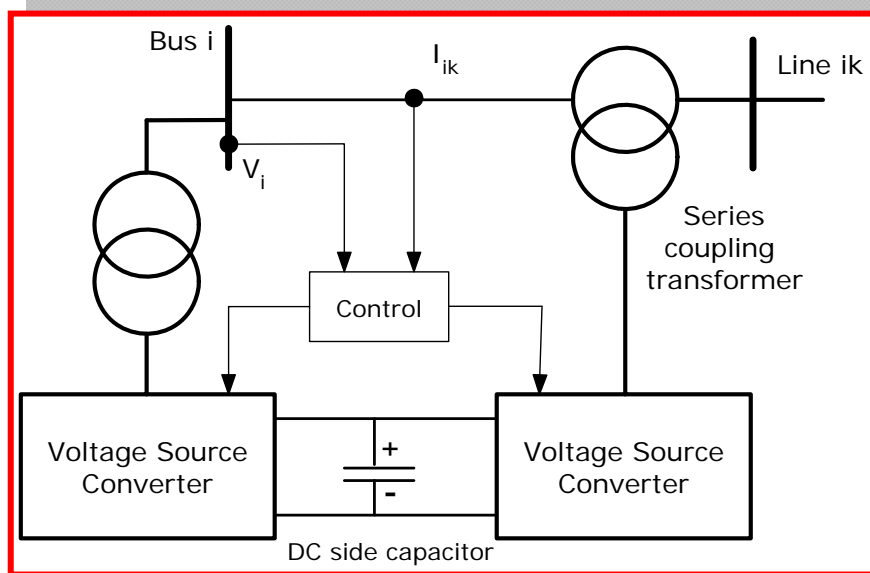
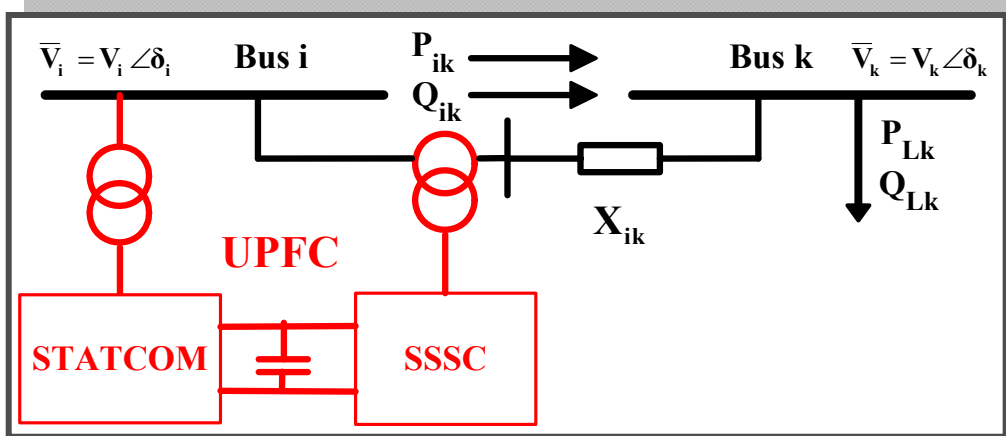


מפצה סטטי סינכרוני טורי מתנהג כקבל בעל ויסות רצוף של הקיבול, מתנהג כסליל בעל ויסות רצוף של השראות ובעל תגובה מיידית לאות הבקרה.

– בקר זרימת הספקים משולב UPFC

המתקן הזה מהווה שילוב של מפצה סינכרוני ומפצה טורי.

איור 10 - בקר זרימת הספקים משולב



בקר זרימת הספקים המשולב מבקר בו זמנית מתח פס הצבירה וזרימת ההספקים בקו, בעל תגובה מיידית לאות הבקרה.

**סיכום:**

- א. מפצה מקבילי מבקר את מתח הקו
- ב. מפצה טורי מבקר את אימפדנס הקו
- ג. בקר משולב מבקר מתח, אימפדנס וזווית
- ד. לשלושת ההתקנים הנ"ל ויסות רצוף ותגובה מיידית (חלקי מחזור) לאות הבקרה.

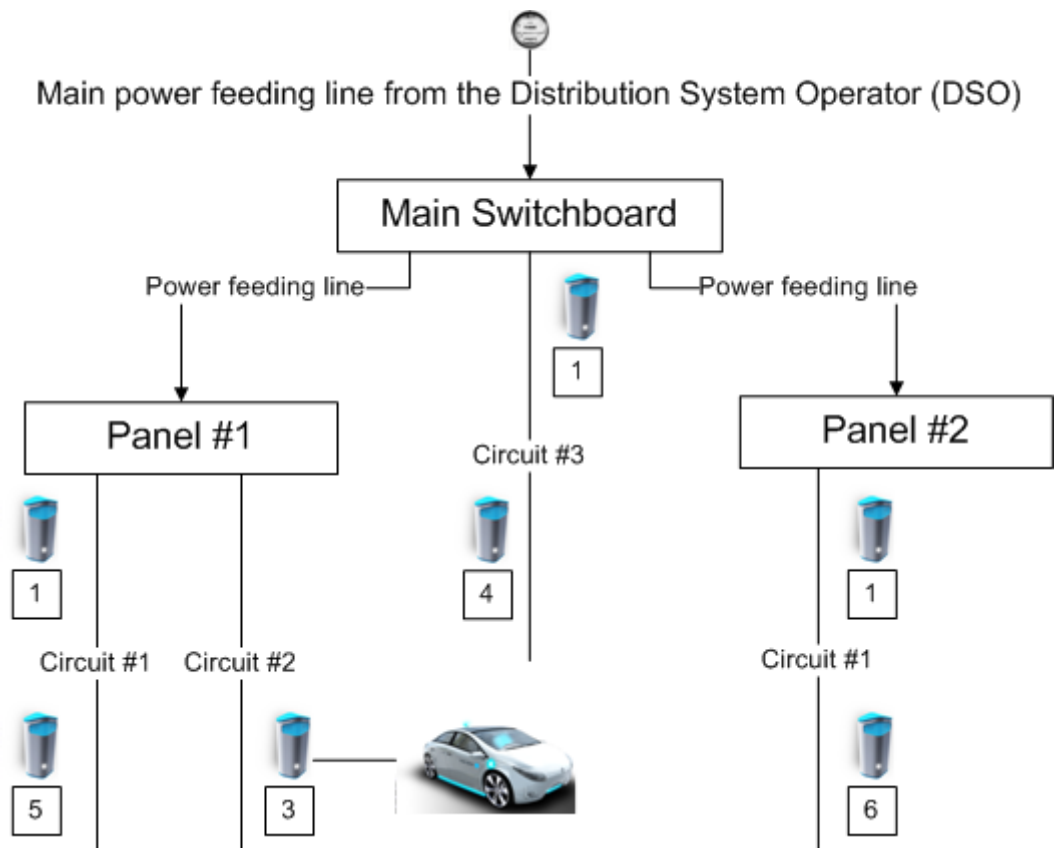
ד"ר דן וינשטוק, **Better Place Ltd.** : יישום עקרונות הרשת החכמה ברשתות טעינה של רכבים חשמליים - איך זה נראה באמת?

רשת חכמה תתאפיין בשלושה אלמנטים מרכזיים: מוניס, תקשורת מתקדמת, ואלגוריתמיקה. בדברי אתייחס באופן ממוקד לרשת טעינה, כפי שמקימה חברת Better Place, ואנסה להדגים את הסיבוכיות הרבה הכרוכה בהקמת רשת כזו. רשת טעינה צריכה להתחשב בכמה גורמים –

1. צרכי האנרגיה – כמות האנרגיה הנדרשת ליחידת זמן מסוימת.
2. מגבלות תשתית של הרשת - נוגעות גם לרשת הטעינה הייחודית וגם לרשת החשמל הארצית.
3. זמינות אנרגיה ממקורות מתחדשים – המערכת צריכה לתמוך בשימוש רב ככל האפשר באנרגיה מתחדשת, כאשר היא קיימת.
4. אופטימיזציה של העלויות.

מרכיבי הרשת הם פשוטים באופן יחסי – קו הזנה, ארון חלוקה, עמודי טעינה ורכבים חשמליים. הרכב הוא עומס חשמלי לכל דבר.

איור 11 - מבנה כלללי של רשת טעינה





הלוח ראשי מוזן מחברת חשמל ויש בו לוחות משנה שמהם מתפצלים עמודי טעינה, אשר לידם חונים רכבים.

במאמץ לאפיין רשת כזו, יש לזכור שכל אירוע דורש חישוב מחדש – כל כניסה או יציאה של רכב, חיבור למטען או ניתוק מהווים למעשה שינוי בעומס. יש לקחת בחשבון גם תרחישים כגון רכב אשר יוצא מהמגרש לפני תום הטעינה, שינוי בתעריפי חשמל על פי השעה ביממה, או שינויים אחרי בלתי צפויים. בתכנון הרשת מתחשבים גם באפשרות של הזנה מהרכב חזרה לרשת. יש מכלול של שיקולים הקשורים לאתר שבו מותקן מגרש ההטעינה, שיקולים הקשורים לאנרגיה, שיקולי סוללה המותקנת ברכב, ובפרט גיל וסוג, וכמובן נושא תעריף החשמל עצמו ומקור האנרגיה הזמין.

כל הפרטים הללו נכנסים לאלגוריתם מסובך שייעודו למצוא את אפשרות הטעינה היעילה והזולה ביותר.

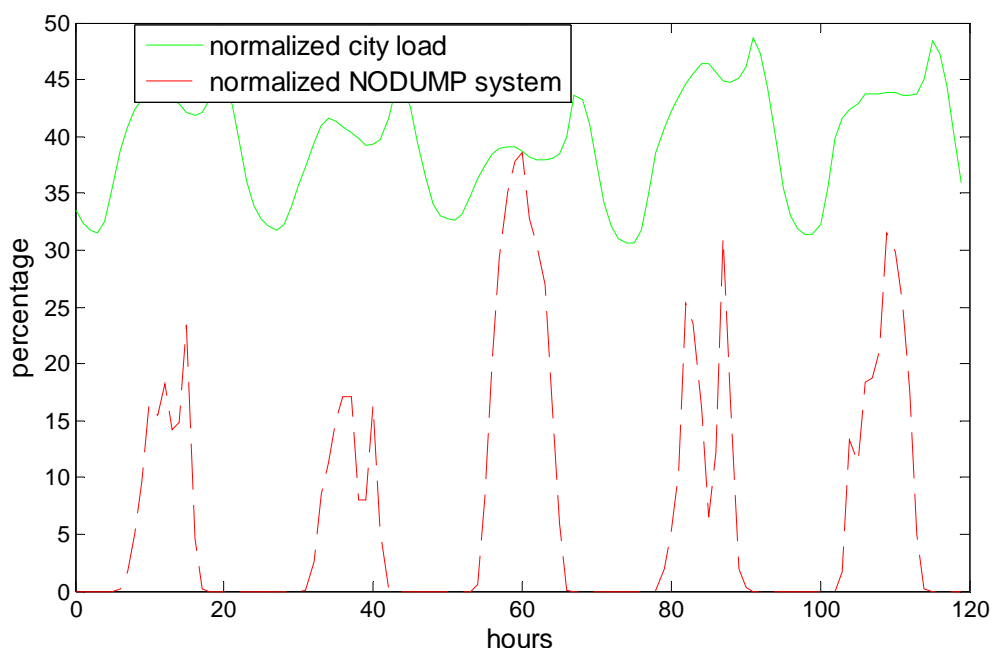
פתרון של אלגוריתם כזה דורש תיאור מתמטי של המצבר, של כמות החשמל הנדרשת לרכב וכו'. מוסיפים לתחשיב גם מכלול שיקולים הקשורים לכלי הרכב עצמו – מה הרכב הזה, למי הוא שייך (מתן עדיפויות לבעלי תפקידים מסוימים או הכרה של לוח הזמנים שלהם), לאן הוא צריך לנסוע וכו'. המטרה בפתרון המערכת היא למצוא את התנאים האופטימאליים לזמן הטעינה. הפיתרון הינו סבוך ומורכב, וכמובן משתנה מרגע לרגע. כל מי שעוסק ברשתות חכמות יגלה מאחורי כל רשת חכמה אלגוריתם מהסוג הזה או כדוגמתו אשר הפיתרון שלו הוא פיתרון מתמטי סבוך.

**פרופ' דוד פיימן, מכון בלאושייין, שדה בוקר :** חיבור יעיל של מערכות פוטוולטאיות בקנה מידה רחב לרשת החשמל הארצית

בעיה בסיסית במערכות גדולות (GW) ליצור חשמל מאנרגיה מתחדשת כגון PV או רוח היא בכך שבמעבר מהיר ממצב כבוי למצב פעולה (כפי שקורה לעתים קרובות במקורות לא-רציפים מסוג זה) רוב מתקני הייצור הקונבנציונאליים אינם יכולים להגיב במהירות מספקת. לכן, אם נרצה שלא לבזבז חשמל ירוק משמש או מרוח, יש גבול לגודל של מתקני ייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת שניתן לשלב ברשת. הגבול נקבע ע"י הגמישות של הרשת. מתקני עומס בסיס המגיבים לאט, כגון תחנות פחמיות, מקטינים את גמישות הרשת בעוד שמתקנים המגיבים במהירות, כגון טורבינות גז, מגדילים את הגמישות. לצערנו, מבחינה כלכלית אין אפשרות לבסס רשת אספקת חשמל קונבנציונאלית על טורבינות גז עקב היוקר בהפעלתן. לפי נתוני חח"י, הגמישות הנוכחית של רשת החשמל בישראל היא כ-80%. שיקולים כלכליים גורמים לה לפעול בגמישות מעשית של כ-65%. אם הגמישות תרד מתחת ל-64%, לא תהיה אפשרות להזין לרשת חשמל מאנרגית רוח או PV מבלי "להשליך" חלק מן החשמל הירוק המיוצר.

במסגרת תכנון רשת חשמל עתידית שיהיה בה מרכיב נכבד של חשמל ממקורות מתחדשים (בעיקר שמש ורוח במקרה של ישראל) יש צורך לכן במדיניות תכנון "חכמה" וגם במדיניות הפעלה "חכמה". תכנון חכם כולל, בין השאר, הימנעות מהוספת תחנות פחמיות (או גרעיניות) שכן אלה מקטינות את גמישות הרשת.

## איור 12 - צריכת החשמל העירונית ויכולת אספקת האנרגיה ממערכת PV



ברשת שגמישותה נשמרת גבוהה, ייתכן מצב בו כ-90% מן החשמל בארץ יגיע ממקורות מתחדשים, עיני שילוב של מתקני ייצור מרוח או PV עם מתקני אגירה ביחס מתאים, תוך מדיניות הפעלה נכונה של המתקנים הקונבנציונאליים הקיימים. לדוגמה – מערכת הכוללת 35 GWp של PV עם 100 GWh של אגירה (זו האחרונה שוות-ערך ל-70% מכושר הייצור היומי של חח"י) הייתה יכולה לספק 89% מן התצרוכת השנתית ב-2006. שאר ה-11% היו מסופקים ע"י טורבינות גז, אך לא בשעות השיא, שכיום זהו זמן פעולתן העיקרי. במקום זאת, טורבינות גז היו נקראות למלא מחסורים אקראיים בכושר הייצור (למשל מוקדם בבוקר או מאוחר בערב) כאשר המאגרים ריקים ואין שמש. בתנאים כאלה, תפקיד הרשת החכמה יהיה להפעיל את טורבינות הגז, מתקני שמש ורוח, ומתקני האגירה, תוך שימוש בחיזוי מדויק של פרופיל העומס וזמינות שמש ורוח על פני מספר ימים עד שבוע.



## פרק 4: דיון

בחלק השני של הפרק התקיים דיון פתוח על המידע שהוצג ועל המסקנות האופרטיביות שיש להפיק ממנו. על מנת למקד את הדיון, הוצגו מראש מספר שאלות כדלקמן:

- מהם הצעדים שיש לנקוט ליישום רשת חשמל חכמה בישראל?
- מה ידוע על יישום רשתות חכמות במדינות העולם?
- מהן העלויות הכרוכות ביישום רשת חכמה בישראל?
- מהן התועלות הצפויות מיישום רשת חכמה בישראל?
- מהי צורת יישום מתאימה לרשת חכמה בישראל?

דברי המשתתפים מובאים כאן בסדר בו נשמעו וללא עריכה. בפרק הבא ניתן סיכום ומוצגות מסקנות מדברים אלה.

**ד"ר שלמה ולד:** שמעתי את ההרצאות של חברת החשמל ואני מכיר את התכנית של אובאמה. אני חושב שגם התכניות המפורסמות בארצות הברית וגם חברת החשמל הישראלית חוטאים לתפיסת הרשת החכמה. התפיסה שהוצגה כאן היא תפיסה מצמצמת שנולדה מחינוך ארוך שנים של כל אנשי ה-utility, המורגלים בתפיסה ההיררכית. התפיסה הזו אינה מהפכנית מספיק לטעמי, ואני צופה שעם צמיחתה של הרשת החכמה נראה, כמו באינטרנט - מערכת של clusters, מיתוג מהיר ואיזון עומסים. המערכת כולה צריכה להיות מאוזנת על ידי פיקוח וגישה זו כיוונית – פיקוח הרבה פחות מרכזי ממה שתארו כאן. בכמויות מידע גדולות כל כך ברור כי הפיקוח חייב להיות אוטומטי ואין ספק כי אלגוריתמיקה תהיה המוביל הראשי. האתגרים הם הרבה יותר גדולים מאשר האתגרים המוכרים לנו היום כגון עבודה בתעו"ז שעתיד.

הייתי רוצה שכתוצאה מהמפגש הנוכחי תוקם קבוצת עבודה של מומחים אשר תוכל לעבוד עם קבוצות מקבילות אמריקאיות. מדינת ישראל היא נכס כי המדינה קטנה ומבודדת מבחינה אנרגטית ועם זאת גדולה מספיק כדי להוות מעבדה. אנו מובילים בעולם בתחום ICT. זו גם הסיבה שבגלל בחרה חברת Better Place לבצע כאן את הפיילוט שלה. משרד התשתיות משקיע בתחום כסף רב ובעקבות כך גם רואים התקדמות מחקרית. בהמשך יהיה צורך להביא לשולחן הדיונים גם גורמים שאינם רואים את מערכת החשמל כחלק ממגרש המשחקים הטבעי שלהם.

הנושא של שילוב ופריסה של רשת חכמה הוא תנאי הכרחי אבל לא מספיק לניהול ייצור חשמל ממקורות מתחדשים (למשל מערכות אגירה וכו'), שאם לא כן אנו ניצור חשמל שלא יתרום למשק האנרגיה. הנושא של ניהול הרשת הוא הכרחי עבור ביטחון אנרגיה. ברור כי יעילות כספית גם היא הכרח ולא ניתן להזניחה, אבל רשת חכמה נועדה גם לאפשר עבודה באילוצי אופטימיזציה של העלויות. העלויות להקמת הרשת גבוהות אבל אם לא נפעל ולא נשקיע היום נצטרך להשקיע הרבה יותר בעתיד. לדעתי צורת היישום המתאימה לישראל היא הקמה של קבוצת עבודה אשר תגדיר תפיסה המתאימה למדינת ישראל בגישה רחבה ומהי צורת היישום המתאימה לרשת החשמל בישראל – זו משימה

לאומית, שאני מעריך את משכה בעבודה של שנה או שנתיים, אשר במהלכן אנו צריכים לקיים שיחות עם עמיתים בארה"ב ואירופה כדי להיות מתואמים עם העולם.

**פרופ' גרשון גרוסמן:** למי יש מנדט להקים קבוצת עבודה ראשונית?

**ד"ר שלמה ולד:** אני מזמין את כל מי שיש לו הגיגים לגבי תפיסות ורכיבים בעניין זה להעבירם אלינו כי אנחנו מתעניינים בדעות ורעיונות של אנשים על מנת לגבש תפיסה וצוות. אני מבטיח לקרוא את כל הדברים בקפדנות ומקווה להיעזר במוסד נאמן ליצירת קבוצת עבודה ראשונית. צריך להניע תהליך מול נציגי האוצר ולהבין שלאחר מספר שנים של קידום הנושא בתקציב מועט יחסית, נצטרך להתקדם במו"פ בצורה אינטנסיבית.

**ציון עמוסי:** רשת חכמה היא משימה לאומית. לאחר שתקום – הצרכנים יפיקו תועלת, כפי שתואר כאן, אבל בראש וראשונה אנו מחויבים לוודא כי יהיה מספיק חשמל בכל זמן, ולא נעמוד במצב של מחסור בחשמל שיגרום להפסקות חשמל יזומות. היו תקלות בשנים האחרונות שיכולנו למנוע אילו הייתה רשת חכמה. בהרצאתו הזכיר דן וינשטוק נושא של מיקרו רשת חכמה, ובאופן ספציפי מרכז בקרה לרשת טעינה לרכב. מרשת חכמה כזו אנו דורשים דרישות מסוימות על מנת להתחבר באופן ישיר לרשת החשמל. כבר עתה ברור כי אם כל בעלי הרכבים יתחברו בבת אחת לטעינה ישירות מול רשת החשמל הארצית - הרשת תקרוס, לכן נדרשת מיקרו רשת חכמה אשר תנהל את הטעינה בצורה מסודרת. אני מניח כי בהמשך יקומו עוד חברות, אשר לכל אחת מהן תהיה רשת חכמה והן יחברו למרכז בקרה שיהווה את מרכז ניהול המערכת הארצי. אני מניח גם כי חברת החשמל תחולק למספר אזורים, ולכל יצרן חשמל תהיה רשת משלו. ניתן יהיה לחבר בין הרשתות לתוך מערכת ניהול מרכזית אחת. מרכז הבקרה של הרשתות השונות מהווה גוף נפרד מהייצור עצמו. רשת ניהול מערכת הבקרה תהיה מרכזית, והיא שתחלק את העומס והדרישה בין כל הרשתות הקטנות יותר במערכת. ניהול המערכת לא יישאר בחברת חשמל אלא יהיה בנפרד – הוקמה חברה ממשלתית לצורך זה והיא אמורה לבקר את המערכת הכוללת.

**אמיל קויפמן:** אני מייצג את התאגדות מהנדסי החשמל והאלקטרוניקה. להתאגדות יש מועצה בת 50 חברים והיא מבצעת פעילות הנדסית דומה לפורום הזה, רק בהיבטים פרקטיים יותר. גם בהתאגדות אמור להתקיים בקרוב דיון בנושא רשת חכמה. ההגדרה של רשת חכמה תלויה בגורם המגדיר – יש המון נקודות מבט – רשת תקשורת, רשת רכבות, רשת חשמל. כאשר אנו מגדירים רשת חכמה אנו מדברים על מערכת אנרגיה וניהול נכון שלה. אנו נמצאים בעידן של ייצור מרוכז וצריכה מבוזרת. העתיד צופן בחובו עולם שונה של ייצור מבוזר. מדינת ישראל היא מדינה מבודדת בניגוד לאירופה, אשר בה יש מערכות תומכות רבות וגיבוי הדדי בין המערכות השונות. מדידת האפקטיביות של כלל הרשת מוערכת על ידי ההפרש בין השיא לשפל. במדינת ישראל אין רזרבות ייצור מספקות. אנו מדינה חמה עם צריכת חשמל רבה (40-45%) למיזוג אויר. נוכל לבנות רשת חכמה דרך ניהול נכון למשל של מיזוג אויר – כמו בקליפורניה.

על מנת לנהל אנרגיה חייבים לבצע מדידה – אם לא מודדים אין מידע לניהול נכון. שלבי העבודה כוללים ריכוז המדידות ובנית מאגר מידע, ניתוח וקבלת החלטה. זו עבודה מורכבת וסבוכה וברור כי יש להקים צוות, וללמוד מדוגמאות שכבר פועלות ברחבי העולם; למשל ביפן יש מערכת מומחה ברשת

החשמל – לא ניתן לנהל מערכת מרכזית ללא מנהל מומחה. ברצוני להוסיף עוד כי יש לי, באופן אישי, ניסיון בתחום רשתות והייתי מתכנן וכיום עוסק במנייה. חשוב לדעת מספר עובדות – מונה חשמל הוא מכשיר סטנדרטי לחלוטין. זהו מכשיר החשמל השני בעולם - היום מותקנים-בעולם קרוב לשני מיליארד מונים. מונה אלקטרוני חד פאזי פשוט הוא מוצר זול. לכל המערכת שמסביבו יש עלויות גבוהות.

במדינת ישראל נראה נכון להיום כי לא נוכל להקים מערכת תקשורת ייעודית למשק החשמל. נצטרך להשתמש ברשת התקשורת הציבורית. המערכות הן פשוטות אבל חשוב לצבור ידע וניסיון בשימוש בהן. נכון להיום, המוח והפיתוח נמצא באירופה וארה"ב והייצור עצמו בסין. אני מאמין שלהגיד שאנחנו יכולים להיכנס עכשיו בפשטות לפרויקט של רשת חכמה, ולהעתיק תקן לאומי של מדינה מסוימת, לא יהיה מהלך חכם. ברור כי המערכת חייבת להיות בסטנדרט בינלאומי. באנגליה נכנסים בימים אלו לנושא מנייה מתקדמת ופתחו לצורך כך שני מסלולי לימוד למומחים וכ- 3000 איש עוברים בימים אלו הכשרה. הרושם כאילו מתקיימים מערכת והיא פשוט עובדת לבד אינו נכון. חייבים להכין לצורך פרויקט כזה כוח אדם מתאים. אם המקצוע הפופולארי ביותר היום הוא מהנדס היי-טק, אני צופה כי אנחנו נראה בעוד כעשור דרישה גוברת והולכת למהנדסי אנרגיה.

**ג'ו וון צוארן :** ברוב העולם מקובל להניח כי 20% מן החשמל במשק האנרגיה יגיע ממקורות אנרגיה מתחדשים. ברוב העולם שואפים להגיע ליעד הזה. למעשה הדבר החשוב ביותר במערכות אנרגיה הוא ניהול של היצע וביקוש. כדאי מאוד ללמוד מיישומים שכבר קיימים כדוגמת רשת האינטרנט. ברשת התקשורת חלה מהפכה של ממש ושנוי תפיסה כאשר עברו לאינטרנט מהדור החדש, המאפשר להעביר תקשורת דרך הקווים כך ששיחה או וידאו יעברו באיכות גבוהה. חלק מהאנשים שהובילו בחזית המחקר והיישום בתהליך זה נמצאים פה בארץ, באקדמיה ובתעשיית ההיי-טק. לדעתי חייבים ליזום מפגש של אנשי ה-grid עם אנשי אלגוריתמים של אינטרנט, ולאפשר פלטפורמה שבה ילמדו אלו את אלו איך עובדות הרשתות השונות, ומה הדומה והשונה ביניהן. אפשר להגיע במפגש מפרה כגון זה לתועלות גדולות מאוד. זה מהלך חשוב מאוד, ויהיה טוב אם מוסד נאמן יוכל לארח מפגשים מסוג זה בנושא רשתות מחשוב מול רשת חשמל.

**פרופ דוד פיימן :** אני מתייחס לרשת חכמה כחלק ממדיניות אנרגיה לטווח ארוך, לא רק לצרכים הנוכחיים. בנושא המדיניות לטווח הארוך, קיימת גם ההחלטה מה יהיה תפקידן של האנרגיות המתחדשות במשק האנרגיה. אנו חושבים כיום באופן מובהק על אנרגיות מתחדשות כעל אנרגיות עם עלויות ייצור יקרות, אך אני מתייחס לאנרגיות המתחדשות העתידיות כאנרגיות שלא יעלו יותר מייצור אנרגיות קונבנציונאליות היום – כלומר סביב \$1 לוואט לכל המערכת. ייצור חשמל מתחנות רוח כבר הגיע לשלב זה, ולהערכתי גם השאר יגיעו. אני מקווה לראות חדירה גדולה של אנרגיות מתחדשות למשק האנרגיה – מעבר ל 20% (אינני יודע למה באירופה בחרו דווקא בשיעור חדירה זה).

אני מבין כי בשיעורי חדירה גבוהים שיש בעיות יציבות של המערכת, אבל ניתן להתגבר עליהן בעיקר דרך שימוש בתחנות הקיימות בצורה שונה. האסטרטגיה של ניהול התחנות הקיימות חייב להיות חלק ממערכת שלמה, הכוללת מערכות אגירה עבור האנרגיות המתחדשות וגם תחנות כוח גדולות של GW רבים מאנרגית שמש או רוח. שטח הקרקע הנדרש מתחנות רוח הוא דומה לשטח הנדרש לתחנות PV סטטי, אלו שטחים שהם גדולים פי 2 בערך מייצור סולארי תרמי, מסוג שוקת או CPV. אני מתייחס

לתחנות הרוח הגדולות של טקסס –הבנויות על כ- 40 קמ"ר – ומייצרות כ- 2 מיליארד קוואט"ש חשמל לשנה. זה שטח גדול, אבל ייתכן כי נוכל לנצל את אותו השטח של התחנה הסולארית לייצור משולב של שמש ורוח. שניהם יחד יכולים להחדיר לרשת אנרגיה רבה - מעל 30% ללא אגירה. הנקודה היא שכשאני מתייחס לאנרגיות מתחדשות כיום, מדובר על שוליים, והאם אנו רוצים רשת שבסוף תתבסס על 90% אנרגיות מתחדשות עם אגירה. אם כן, חייבים כבר עכשיו להפסיק לבנות תחנות פחם חדשות ולוותר על הרעיון של תחנות כוח גרעיניות, אלא לפנות לכיוון של תחנות כוח גמישות אשר ניתנות לכבוי והדלקה. חשוב לשים לב גם לסוג האגירה – פרופיל ביקוש החשמל וגודל תחנות הכוח הסולאריות יחד קובעים את תכונות קיבולת אנרגיה וקיבולת ההספק של האגירה, וחשוב לבנות אגירה שניתנת להגדלה משנה לשנה. ניתן ואף חשוב לתכנן מראש את סוג תחנות האגירה.

בנושא אסטרטגית הפעלת הרשת – חשוב לי להבהיר כי כשאני אומר שיש לשאוף למקסימיזציה של אנרגיות שמש ורוח ושהשיקול הזה חשוב יותר משיקולים כלכליים – זו לא המטרה. המטרה היא להפעיל את כל הכלכלה של הרשת בצורה שגם הכלכלה של אגירה אנרגית רוח ושמש תהייה אופטימאלית. היום טורבינות גז היא היקרה ביותר מבחינת תחזוקה ותפעול אבל הגמישות שתחנה כזו מאפשרת יחד עם כמות מסיבית של שמש רוח ואגירה תאפשר לנו לוותר לגמרי בתוך כ- 30 עד 40 שנה על תחנות פחם, ולעבור לייצור חשמל באמצעות גז בלבד, המאפשר כיוונים עדינים של הרשת.

**נוראני שגיב:** אני מצטער שחסרים בדיון הזה נציגי התאחדות התעשיינים ואיגוד לשכות המסחר, שמיצגים את הצרכנים הגדולים של מערכת החשמל. מנקודת המבט שלי והניסיון בשטח - רשת חכמה היא רשת יעילה/אופטימלית למסירה וחלוקה של חשמל במחיר נמוך ובאמינות ואיכות גבוהה ככל האפשר. מונה חכם, הוא הלב/המפתח של רשת חכמה, וכבר קיים אצל חלק מן הלקוחות הגדולים של חשמל כשתפקידו העיקרי לאסוף נתונים ולהפעיל פקודות לויסות אנרגיה ולניהולה כדי לחסוך בהוצאות החשמל ודלקים. בבתי חולים למשל יש דודי מים חמים המחוממים באמצעות סולר – למוסדות גדולים כאלו כדאי כבר היום לעבור לחימום בדודי חשמל במחירי תעו"ז. מנקודת ההסתכלות של הצרכן המונה הוא data logger, אשר מנהל את האנרגיה בתוך המפעל או המבנה.

חלק מהבעיה הוא ביזור של ייצור האנרגיה – אני רואה בעתיד ייצור חשמל על ידי צרכנים שצורכים מעל 5 מגה וואט. אם יגיע גז טבעי לפתחו של מפעל כזה יהיה לו זול יותר לייצר חשמל בעצמו מאשר לרכוש אותו מכיוון שלא יאלץ לממן את רשת החשמל הארצית וינצל טוב יותר את האנרגיה הראשונית (הגז) לחימום במפעל באמצעות קו-גנרציה. בעתיד אנו נראה את המימוש של ייצור החשמל מצד הצרכנים במידה רבה, כי כדאי להם. דבר זה מייעל גם את צריכת החשמל והדלק במדינה לטובת המשק הלאומי, ולכן תמיכה כספית או אחרת של הממשלה ליישום ייצור עצמי של חשמל והקמת רשת חכמה שתוכל לנהל את המערכת הארצית ליצור והעברה של חשמל - מבורכת.

אני מסכם – ליישום רשת חכמה כדאי להתחיל בהתקנת מונים חכמים אצל צרכני החשמל תוך כדי שדרוג הרשת הארצית הקיימת. זה כדאי, מעשי וגם אין מנוס מכך, שכן התשתית הבסיסית פשוטה וכבר קיימת. הרגולטור, הממשלה ואחרים חייבים לתת כתף לכך כי זה משרת היטב את המשק הלאומי, שפניו לכיוון הי-טק שדורש אספקת חשמל אמינה, איכותית וברת תחרות.

**זאב גרוס :** כאשר אתה מעביר את ייצור החשמל ללקוח הפרטי אתה למעשה אומר לצרכן לנהל עסק של אנרגיה וזה תחום שבו אין לו שמץ מושג. ייצור חשמל מקומי אינו רק הובלה של גז טבעי לפתח המפעל, אלא אתה הופך להיות מנהל עסק לאנרגיה.

אני חושב שיש כמה דברים שכבר קיבלתי כתובנה – ראשית אין ספק שכל ניסוי בנושא רשת חכמה חייב לכלול בתוכו לפחות אלמנט ייצור אחד – חייבים ללמוד בין השאר גם לנהל גורם ייצור, כולל חיבור שלו לרשת – חייבים לוודא שהמערכת תכלול לפחות אלמנט ייצור אחד. בנוסף יש אלמנטים החשובים לנו כאי אנרגטי – האם התכנון שאנו רואים נגד עינינו שונה מהתכנון בארה"ב למשל? לדעתי אין שום קשר בין מה שקורה כאן לשם גם מבחינה טכנית וגם חוקית. בארצות הברית כיום לא ניתן לתמחר רשת הולכה מטקסס עד ניו יורק, משום שמערכת כזו מחייבת אוסף של תחנות בדרך. זה כשלעצמו משחק תפקיד חשוב בתכנון. מבחינה טכנית אין מה להשוות בין התפיסות –אני לוקח לדוגמא רשת אוטומטית שמאזנת את עצמה.

חשוב להגדיר גם כקונספט אם התפיסה אומרת שאני כמנהל רשת מחויב לעמוד באספקה של כל הביקושים. במערכת האוטומטית תידרש התאמה למדיניות הנבחרת. זה מחייב פיתוח של תורה המגדירה איך אנו רואים את הניהול מול הצרכנים – איך מתייחסים לצרכן ולגורמים שונים ברשת. התורה הזו צריכה להיות הבסיס של חוק משק החשמל – זו מדיניות עם התאמות משפטיות מתאימות. אני לא בטוח שהדור השני של האינטרנט דומה למה שמדובר היום – כי בניגוד לרשת המידע אנו מדברים על כמות פיזית של מוצר שהשתמשת וצרכת אותו. ברשת החשמל אנו אמורים להביא את המוצר אל הצרכן ולא מדובר על תנועה דו סטרית של תקשורת כמוצר. זה לא דומה לרשת מידע.

אני מעלה כשאלה: אחת הבעיות היא העלות של אנרגיה מתחדשת – אני מסכים שמרכיביה הפיזיים של המערכת יגיעו למחיר הצפוי אבל חייבים להביא בחשבון גם את נושא מחירי הקרקע, ונכון להיום מדובר על מערכות ייצור גדולות יותר ממערכות קונבנציונליות בגלל הצורך באגירה. ממה שאני מבין, נכון להיום מערכות המבוססות על אנרגיה של רוח או סולאריות דורשות מערכות גיבוי קונבנציונאליות בשיעור של 0.7kW לכל kW מיוצר.

**פרופ' דוד פיימן :** אני צופה שבעתיד, במקום מערכת הגיבוי, תהיה מערכת אגירה בשיעור גבוה אפילו יותר מכך. זוהי טכנולוגיה שהיום יקרה מאוד, ולמעשה לא קיימת, אבל בעתיד צפוי פיתוח משמעותי שלה וירידה למחירים ריאליים.

**שלמה שמי :** חברת IBM מעורבת בפרויקטים של רשת חכמה במספר מדינות – ביניהן מלטה, דנמרק וגרמניה. אנו תומכים במאמצי פיתוח של מגוון יכולות, החל מניהול רשת ועד זיהוי מקורות תקלה, הגעה למקום התקלה וטיפול מהיר. בגרמניה למשל – יש כוונה לתת לכל צרכן תיאור כמה החשמל עולה לו בכל רגע.

נושא הרשת החכמה דורש מדיניות. אנו יכולים לצפות להתפשטות של הטכנולוגיה בכל מקרה, ואם לא יהיה ניהול מוסדר וקבלת אחריות מטעם הרגולטור או חברת חשמל, יהיו שימושים בלתי חוקיים כמו שידורי הכבלים הפיראטיים בשנות השמונים. ראשית יש לבדוק מהו הצורך והרצון של הצרכנים ומהן הבעיות שיש לפתור, ומשם לגזור מדיניות שתנחה את בניית הרשת החכמה. יש לפעול בשלבים מוגדרים ובהדרגה, ולא בבת אחת בפרויקט מגלומני.



**עמנואל מרינקו :** אני חושב שגם במדינת ישראל כמו במקומות אחרים ברחבי העולם, כניסה של יותר יצרני חשמל פרטיים לא תותיר ברירה ולא יהיה מנוס מהתקנה של רשת חכמה. מערכת מנייה חכמה חייבת להיות הבסיס, אשר מותקן כמובן אצל הצרכנים עצמם. הצרכנים יוכלו לחזות את הצריכה שלהם, ולמשל לנתק מערכות בשעות שיא כדי לחסוך כסף. באמצעות המידע הזה היצרנים יוכלו לחזות את האנרגיה הנצרכת, ולנהל את הייצור בהתאם. ללא מידע לגבי מה קורה אצל הצרכן לא נצליח לנהל את המערכת. אם כל אחד ייקח כמה שהוא רוצה ומתי שהוא רוצה, יגרמו הפסדים עצומים.

ברגע שיהיו הרבה יח"פים (יצרני חשמל פרטיים) והם ירצו למכור עודפי חשמל לרשת – נהיה חייבים לדעת בדיוק מהם צרכי המערכת ולנהל נכון את התעריף – מנהל המערכת יבקש לדעת עבור כל צרכן מה רמת הצריכה הצפויה – הצרכן יתבקש לצפות לפי שעות כמה חשמל הוא יצרוך. אם הוא יעמוד בצפי הצריכה במדויק – יקבל תעריף טוב. כל סטייה מהצפי – לחיוב או לשלילה תגרור קנס. אם נניח שאי ההתאמה בין הבקשה לצריכה בפועל תהיה בשיעור של כ-10%, נוכל להגיע לקנסות בגובה של 2 מיליארד שקל לשנה – במידה שחברת החשמל תוכל לשלוט אפילו רק במחצית – יהיה אפשר לממן מזה מערכת לתפארת. ברגע שנראה למפעלים ולצרכנים הגדולים על אילו סכומים מדובר כולם ירוצו להצטרף.

בפילוט של לוח מנייה בייתי חכם ניתן לראות כי על ידי תעריפים נוכל לאפשר גם למבנים או לצרכנים הקטנים להיכנס לפרויקט ובאמצעות ניהול צריכה נכון וניצול הפרשי תעריפים תוך שלוש שנים תוחזר ההשקעה. מהלך כזה יגרום לכך שיהיה אינטרס לצרכנים להצטרף לפרויקט כזה.

**זאב גרוס :** אתה מדבר על אספקת כל הביקושים? האם אתה מסוגל לספק את כל הביקושים?

**עמנואל מרינקו :** אני מדבר על צרכנים גדולים שחתומים על עסקאות מקיפות – הם יתבקשו לצפות כמה חשמל הם עומדים לרכוש ואם יחרגו מהצפי שקבעו לעצמם – ישלמו קנס אשר יממן את הקמת התשתית הנדרשת.

**גרי שפר :** כמנהל פרויקט מנייה חכמה בחברת החשמל אני צריך עקרונות ומדיניות שינחו אותי על מנת שהתהליכים והטכנולוגיות הנבחרים לפרויקט ישרתו את מטרות העל. בנושא הרשת החכמה - מהי המדיניות? מה המטרות? מה מדיניות הדלקים? פליטות הפחמן? נכון להיום אני באפלה בעניין זה – וזה נאמר כבר מספר פעמים – צריך להגדיר מדיניות, מטרות ואסטרטגיה ורק אז ללכת לבחון תהליכים וטכנולוגיות. יש יותר חוכמה בטכנולוגיה ובמחשוב של המערכת ממה שאנו יודעים לנצל. אני רוצה להפריד בין לקוחות עסקיים לבין לקוחות פרטיים – בכל מקום בעולם יש ללקוחות העסקיים הגדולים חוזים ישירים מול חברת החשמל. הרגולאטורים שומרים על האינטרס של "הלקוח הקטן" ומקבלים את זה שלעסקיים יש צרכים מיוחדים והם מוכנים לשלם עבורם. אנו חייבים להביא בחשבון בדיון גם את צרכי הצרכן הפרטי וגם את הצרכנים הגדולים. הרשת החכמה היא חלק ממדיניות אנרגיה כוללת. לפני הקמת קבוצות עבודה ותכנון גאדג'טים ברשת חייבים להכיר את מדיניות האנרגיה במדינת ישראל.

הכנת כוח אדם זהו תהליך שמבוצע היום בכל העולם. חייבים לפתוח מסלולי לימוד והכשרה לאנשים בעלי רקע גם באנרגיה וגם בתקשורת, וזו גם הבעיה גם ברמת הרגולציה – שני התחומים אינם יושבים בכפיפה אחת ואינם מתואמים.

בנושא תקנים – בחו"ל המערכות נבנות כך שכל לקוח יכול לעבור ספק אנרגיה או תקשורת. באנגליה השקיעו קרוב למיליארד ליש"ט כדי לבנות מאגר נתוני צרכנים כדי לייעל את המעברים, ולאפשר העברת מידע על הלקוח וצריכת החשמל שלו, בין ספקים. נדרשת תקינה (1) על מנת לאפשר חליפיות של ציוד, כגון מונים ו-(2) על מנת לאפשר למערכות מידע, לרשתות תקשורת, למתקנים ולציוד לתקשר ביניהם ולשתף במידע במהירות, בקלות ובאופן מאובטח, שיאפשר Interoperability - שיתוף בתפעול.

**דן וינשטוק :** ברצוני להתייחס לשאלות שהועלו לדיון. איננו מצליחים להתייחס לשאלות באופן ישיר או לענות עליהן משום שהנושא עדיין לא הגיע לבשלות. ניתן לענות לגבי הצעדים שיש לבצע – אנו חיים במדינה לא גדולה, עם יכולות גבוהות מהמוצע, אבל עדיין קטנה. אני חושב שבתחום הרשת החכמה עוד לא עשינו מספיק מאמצים – ואני מתכוון להשתתפות במאמצים מחקריים בינלאומיים. מדיניות אנרגיה חייבת להישען על ידע טכנולוגי שלדעתי עדיין לא הצלחנו לאסוף. לפי מה ששמענו היום, אני לומד שיש פרויקט בנושא בחברת חשמל. אני באופן אישי אינני מכיר את הפרויקט אבל אני בהקשר זה אזרח פרטי. השאלה אם הרשויות יודעות מכך, וזה חשוב לקיים את הדו שיח הזה.

**משה בן יאיר :** קשה מאוד היום להעריך עלויות של פרויקט מהסוג הזה; למרות מספר גדול של מאמרים שנכתבו, הנושא עדיין בחיתולים. מתוך המסמך ששלחנו לפני המפגש (ניתן למצוא את המסמך באתר מוסד נאמן) [www.neaman.org.il](http://www.neaman.org.il) אושר לביצוע פיילוט לרשת חכמה באוהיו, שעלותו הכללית כ- 150 מיליון דולר, המתבטא בסופו של דבר בסכום של 1500 דולר לצרכן. עלות התקנת מונה חכם מתוך סכום זה מוערכת על ידי חח"י ב- 250 דולר לנקודה. התקנה של רשת חכמה בכל המדינה עשויה אם כן להתבטא בסכום של כ- 4 מיליארד דולר. רק על מנת לתת קנה מידה למהות הסכום - סכום כזה הוא שווה ערך לפריסה של רשת חלוקה נוספת כמו זו שכבר יש לנו, כלומר בנייה של רשת חשמל בסדר גודל ארצי.

באשר למימון הפרויקט - ובכן, בעולם ישנם אינספור מודלים תעריפיים לחיוב צרכנים ולמימון השקעות במשק האנרגיה. כך למשל, מבנה התעריפים במדינת ישראל בנוי כך שאנו מחייבים את הלקוחות על פי אנרגיה בלבד (קוויט"ש), ואין כל חיוב בגין הספק או שיא ביקוש בדומה לקיים במדינות רבות אחרות. בניגוד לעמנואל מרינקו, שרואה קנסות על אי עמידה בתוכנית ייצור/צריכה כמקור למימון פרויקט הרשת החכמה, אנו סבורים כי מקור המימון עשוי להגיע מהתייעלות אנרגטית. כדי לעמוד בהחלטת הממשלה הקובעת יעד של 20% עד שנת 2020 – נצטרך להפיק את התועלות המקסימאליות מהרשת החכמה. נראה לי לפיכך שנכון יהיה להתחיל בפרויקט פריסה של מנייה חכמה לכלל הצרכנים משום שכאמור הוא נמוך ביחס לעלות הכוללת, קל לביצוע יחסית ליתר ההשקעות שנדרש לבצע ברשת, והתועלות שלו בתחום צמצום הצריכה והתייעלות אנרגטית נעות על פי מחקרים שונים בין 5% ל- 15% שזה פנטסטי. לאחר שנסיים פרויקט מנייה חכמה נמשיך לדבר הבא שעלותו גבוהה יותר והתועלת ממנו קטנה יותר.

לפיכך, ברמת המדיניות אנו צריכים לנהל את הפרויקט על פי פארטו – לקבוע בכל שלב מהו האמצעי שבגינו תהיה התועלת הרבה ביותר למשק, ולמקד בו את ההשקעות. אני מציע את המונה החכם כאמצעי הראשון שכן כבר הוכח שיש שיעור של חיסכון משמעותי כאשר מתקינים מונה בבית הצרכן והוא רואה בעיניו את צריכת החשמל וזה מדרבן אותו לחיסכון. לאחר מכן נוכל להמשיך להתקנה של חיישנים במערכת וכו', שהם יקרים יותר, ואינם מביאים בהכרח לחיסכון מיידי.

**נוראני שגיב:** ברגע שימנו במפעלים מנהלי אנרגיה כמו שיש מנהל כספים, ויהיה מעקב צמוד אחרי צריכת האנרגיה, ניתן יהיה לחסוך 10-15% באמצעות פעולות פשוטות בעלויות נמוכות. אם תהיה חקיקה שתחייב תשלום עבור זיהום אשר נגרם כתוצאה משימוש בכל קווי"ש, אני בטוח שתעלה המודעות ואולי מנהלי המפעלים ירצו לטפל בזה.

**אדי בית הזבדי:** במשרד התשתיות התקיים קורס לממוני אנרגיה. אנשים אשר השתלמו אצלנו באמת עובדים ברצינות וניתן לראות תוצאות. בבתי מלון יש ממונה אנרגיה ויש תוצאות של חיסכון משמעותי. גם לצרכן הביתי יש פוטנציאל גבוה לחיסכון. דרך התייעלות אנרגטית וחיסכון בחשמל אפשר להביא את הכסף, ולהסתכל על הרשת החכמה כעוד דרך לניהול אנרגיה נכון והתייעלות. ניתן להסתכל על לוח חכם בבית הפרטי כעל ממונה אנרגיה אוטומטי כאשר אין בבית הפרטי איש מקצוע אשר ינהל מהלך של התייעלות.

**פרופ' גרשון גרוסמן:** מה דעת אנשי האוצר? האם המדינה תממן רשת חכמה?

**הרן לבאות:** אני מסכים עם מה כל מה שנאמר לגבי מדיניות – קודם יש למפות יעדים כי אם היעד הוא התייעלות אולי יש דרך זולה יותר מהתקנת רשת חכמה. אם היעד הוא טיפול בהכנסה של אנרגיות מתחדשות למשק החשמל בשיעור של מעל 20% - אולי לא נגיע לשם אף פעם. בגלל העובדות האלו אני חושב שחייבים להגדיר קודם מטרות ומדיניות – צריך ליצר פלטפורמה וידע שיעזרו לנו להגדיר את המדיניות. השאלות שיש לשאול הן: מה יהיו התוצרים? מה זה יכול לשרת? מה התועלות? מכאן מגדירים את המדיניות. בסופו של דבר יגידו כמה זה מועיל, כמה זה עולה, ומה הערך המוסף הצפוי ובאמצעות ניתוח פארטו צריך לראות איזה כדור שלג לגלגל ראשון כדי להניע את התהליך.

**דוד רודיק (הערות שנמסרו לאחר המפגש):** רשת חכמה היא לא דבר שמקימים מהיום למחר, אלא יש לפעול להקים תשתיות לכך. חשוב שבסיכום המפגש תינתן המלצה להקצות לחברת החשמל את המשאבים הדרושים בכדי להשלים את מערך הבקרה של תפעול הרשת הארצית בכל הרמות, כפי שהוצג ע"י מנהל הרשת הארצית, המהנדס צבי שגב.

מהרצאתו של פרופ' אלכסנדרוביץ על זרימת האנרגיה ברשת לא יכולתי להסיק האם הקומפנסטור הסטטי הוא מכשיר מדף. במידה שכך הדבר, מומלץ שחברת החשמל תתחיל לערוך איתור של קטעי רשת מסירה "חמים" בהם ע"י התקנת קומפנסטורים תוכל להעלות את יעילות המסירה תוך חיסכון באנרגיה ההולכת לאיבוד ולדחות השקעות בהגדלת הרשת בהתאם לעומסים. מומלץ להתחיל במהלך אימוץ תקנים בינלאומיים לציווד הפריפרי שיחובר לרשת החכמה: מערכות מדידה, רגשים וכדומה.

לגבי קליטת האנרגיה החשמלית המיוצרת באנרגיה חילופית מומלץ שעל בסיס התוכנית לפיתוח הרשת ומערכות הייצור ייקבעו את "גמישות" הרשת, כפי שפרופסור פיימן הגדיר בדיון, וע"י זה יוגבל הייצור באנרגיה החלופית תוך מניעת מצב של אנרגיה מיוצרת ולא מנוצלת. באותו הקשר במקביל לבדיקת כדאיות הכלכלית של הקמת מערכות אגירת אנרגיה המיוצרת בלילות כגון אנרגיית הרוח, לדעתי יש לעודד הפעלת משאבות חום לחימום מים בשעות השפל, תהליך המוזיל גם כיום את עלות הסקת המים בלילות.

## פרק 5: סיכום והמלצות

רשת חכמה תביא תועלות רבות למשק האנרגיה בישראל, וביניהן: ייצור אופטימאלי של החשמל ושילוב אגירה תוך הפחתת הצורך בה, שילוב טבעי של יצרנים מבוזרים - בפרט מאנרגיות מתחדשות, תכנון יעיל של צריכת החשמל להפחתת עלויות הצרכנים, וביטחון באספקה. הרשת תאפשר מנייה ומעקב, ניהול צריכה ועוד תועלות רבות, אשר החשובה ביניהן היא הפחתה כוללת של הצריכה וניצול נכון של משאבי האנרגיה. היישומים והשירותים הצפויים לטווח הקרוב הם בעיקר בתחום האופטימיזציה, המשאבים ומתן מידע לצרכנים, אבל קשה בשלב הנוכחי לדמיין את כל מגוון החידושים הנלווים שיתפתחו, כפי שקרה בעקבות הקמתה של רשת האינטרנט.

רשת חכמה אינה חייבת להתבסס על מבנה היררכי, המאפיין את הרשת הקונבנציונאלית "מן היצרן לצרכן". סביר לצפות כי יהיה זה מבנה מטריציוני המבוסס על צבירים (clusters) המחוברים ביניהם, שכל אחד מהם בפני עצמו מהווה רשת חכמה ליצרנים ולצרכנים שבתוכו, בדומה לרשתות תקשורת או אינטרנט. כך למשל יכולה להיות רשת חכמה ברמה של עיר, המשתלבת ברשת ארצית, או ברמה של מפעל, המשתלבת ברשת העירונית. התשתית הפיזית – קווי ההולכה והחלוקה - דורשת חידושים והחדרת דיסציפלינות שאינן קיימות היום במערכת החשמל הרגילה – מיתוג מהיר, זרם ישר או חילופין עם סנכרון, תיאום והעברת אינפורמציה על אותה רשת או רשת תקשורת צמודה, פיתוח אפליקציות למפעיל ולצרכן ומתן האפשרות לשלוט במערכות. העברת הנתונים, תקשורת ובקרה – דורשת פרוטוקול אוניברסאלי לתקשורת וניהול הרשת, ציוד תקשורת, מנייה ובקרה על הצריכה.

נושא הרשת החכמה עדין בחיתוליו, גם בישראל וגם בעולם, אך אין ספק שהינו בעל חשיבות לאומית. לישראל יש הרבה מה לתרום בתחום, גם עקב היותה מובילה בתחומי הטכנולוגיה השונים ובמיוחד בתקשוב (ICT), וגם עקב יכולתה לשמש שדה ניסויים בהיותה "איי" אנרגטי.

עלות רשת חכמה גבוהה למדי. לפי הערכות, הפיכת כל הרשת בישראל לחכמה תעלה בסדר גודל של מיליארדי דולר. ניתן וכנראה אף רצוי לבצע את התהליך בשלבים. חברת החשמל כבר החלה בפרויקט מנייה חכמה ל-6000 צרכנים גדולים האחראים לחצי מתצרוכת החשמל הארצית, וניתן להרחיבו לאחר מכן לכלל 2.5 מיליון הצרכנים הביתיים בעלות המוערכת בכ-500\$ לצרכן. החיסכון שיושג ע"י התייעלות אנרגטית יוכל להיות המנוף למימון הפרויקט כולו.

### המלצות:

(1) יש להכין תכנית פעולה ליישום רשת חכמה בישראל. אחת הדרכים שהוצעו – לגבש תכנית זו בקבוצת עבודה של מומחים אשר תוכל לעבוד עם קבוצות מקבילות בארה"ב ובאירופה. יש צורך מיידי להביא לשולחן הדיונים גם גורמים שאינם רואים את מערכת החשמל כחלק ממגרש המשחקים הטבעי שלהם, למשל אנשי תקשוב (ICT).

(2) יש לקבוע מדיניות ולמפות יעדים: דרך הפעולה אינה בהכרח זהה כשהיעד הוא חיסכון מרבי בצריכת חשמל, לעומת אספקה מלאה של כל הצריכה בכל זמן או הכנסה של מקסימום אנרגיות מתחדשות למשק החשמל. במסגרת המדיניות יש להגדיר את התועלות הרצויות, ולאחר מכן לקבוע את המודל העסקי, התהליכים והטכנולוגיה. מהם יגזרו העלויות הצפויות והערך המוסף הצפוי.

(3) רצוי להתחיל ליישום רשת חכמה בצד הצרכני. זה כדאי ומעשי שכן התשתית הבסיסית היא פשוטה וכבר קיימת. יש להתקין מנייה חכמה בפרישה ארצית שכן יתרוונתיה כבר מוכחים והיא מהווה תשתית

חיונית לרשת חכמה. ניתן ליצור צבירים (clusters) איזוריים של רשתות חכמות במקומות בהם הכדאיות גבוהה. צבירים אלו יחוברו ביניהן בהמשך, ואל הרשת הארצית. בצריכה של מעל 4-5 מגה וואט תהיה למפעלים רבים תועלת בייצור חשמל עצמי, בייחוד עם יוכלו להיעזר בקו-גנרציה. (לצורך זה חייבים לדאוג מצד הרגולטור שמחיר הגז הטבעי ישמר).

(4) יש לקבוע תקנים – בתיאום בינלאומי – לרכיבי רשת חכמה כגון מונים חכמים. נדרש פרוטוקול אוניברסאלי לתקשורת וניהול הרשת, לציוד תקשורת, מנייה ובקרה על הצריכה.

(5) יש להכשיר כוח אדם מתאים לתפעול רשת חכמה. הפרופיל הנדרש הוא שילוב של מהנדס אנרגיה ומהנדס תקשוב.

(6) למדינת ישראל יש אינטרס לאומי בניצול מרבי של אנרגיות מתחדשות. יש לתכנן את הרשת החכמה בגמישות מתאימה כך שתוכל לקלוט מקסימום של חשמל המיוצר מאנרגית שמש ורוח.

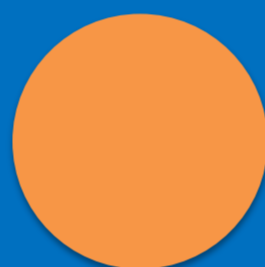
(7) היות שמדובר במשימה בינלאומית, מומלץ לפעול בעיקר דרך שיתוף פעולה בינלאומי, על-מנת למקסם את היתרונות היחסיים שיש למדינות השונות בתחומים השונים, ולהשיג את מרב התועלות בעלות הנמוכה האפשרית.

(8) הואיל והתפתחותה של המדינה היא בכיוון הי-טק, ולצרכני החשמל בתחום זה נחוץ חשמל אמין, זמין ובאיכות גבוהה ביותר ובמחיר סביר (אך גבוה יותר מצרכנים אחרים) שרשת חכמה מועילה בכך, מומלץ לתת עדיפות לצרכנים אלה, תוך שיתוף פעולה איתם בכל הנוגע ליישום רשת חכמה.

1. Technology Action Plan: Smart Grids. Report to the Major Economies Forum on Energy and Climate. Prepared by Italy and Korea in consultation with MEF Partners, December 2009
2. N. Parks: Energy efficiency and the smart grid. *Environ. Sci. Technol.*, **2009**, 43 (9), 2999-3000. <http://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/es900771j>
3. The Smart Grid: An Introduction. Prepared for the U.S. Department of Energy by Litos Strategic Communication under contract No. DE-AC26-04NT41817, Subtask 560.01.04, 2009.

**נספח 1 – תכנית פורום אנרגיה: רשת חשמל חכמה**

<b>פתיחה</b>	<b>13:10-13:00</b>
ד"ר שלמה ולד/ד"ר אברהם ארביב, משרד התשתיות הלאומיות: רשתות חכמות כנדבך מרכזי במשק האנרגיה	<b>13:20-13:10</b>
מר צבי שגב, חברת החשמל לישראל:	<b>13:30-13:20</b>
תועלות רשת חשמל חכמה בתחום תכנון ותפעול רשת חלוקה	<b>13:40-13:30</b>
מר גרי שפר, חברת החשמל לישראל: מנייה חכמה כתשתית לרשת חכמה	<b>13:50-13:40</b>
פרופ' אברהם אלכסנדרוביץ, הפקולטה להנדסת חשמל בטכניון: בקרת זרימת ההספקים ברשת החשמל החכמה	<b>14:00-13:50</b>
ד"ר דן וינשטוק, Better Place Ltd: יישום עקרונות הרשת החכמה ברשתות טעינה של רכבים חשמליים - איך זה נראה באמת?	<b>14:10-14:00</b>
פרופ' דוד פיימן, אוניברסיטת בן גוריון, שדה בוקר: Concerning the efficient connection of VLS-PV to national grid	<b>14:40-14:10</b>
<b>הפסקה</b>	<b>17:00-14:40</b>
<b>דיון פתוח, תוך התמקדות בשאלות הבאות:</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• מהם הצעדים שיש לנקוט ליישום רשת חשמל חכמה בישראל?</li><li>• מה ידוע על יישום רשתות חכמות במדינות העולם?</li><li>• מהן העלויות הכרוכות ביישום רשת חכמה בישראל?</li><li>• מהן התועלות הצפויות מיישום רשת חכמה בישראל?</li><li>• מהי צורת יישום מתאימה לרשת חכמה בישראל?</li></ul>	
<b>סיום</b>	<b>17:00</b>



מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם במדע ומכנולוגיה  
הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל  
טל. 04-8292329, פקס 04-8231889  
קרית הטכניון, חיפה 32000  
[www.neaman.org.il](http://www.neaman.org.il)