# **מערכות משולבות לניהול אנרגיה: פונקציונליות, קישוריות ויישום בישראל**

## **1. מבוא למערכות משולבות לניהול אנרגיה**

מערכות לניהול אנרגיה (Energy Management Systems - EMS) מייצגות גישה מובנית שמטרתה לשפר באופן מתמיד את ביצועי האנרגיה על ידי ניטור, בקרה ואופטימיזציה של צריכת האנרגיה במבנים ובמתקנים.1 גישה מקיפה זו, המוכרת גם כניהול טכני של אנרגיה (Energy Technical Management - ETM) או ניהול טכני של בנייה ואנרגיה (Building and Energy Technical Management - BETM), מהווה מנוף מרכזי במעבר האנרגטי, ומקדמת צריכה אחראית ויעילה יותר תוך הפחתה משמעותית של חשבונות האנרגיה.1

חשיבותן של מערכות ניהול אנרגיה הולכת וגוברת בהקשר של מעבר אנרגטי, חסכון בעלויות ואחריות סביבתית.1 מערכות אלו מהוות אבן בניין עבור מקרי שימוש עתידיים באנרגיה, ומאפשרות ניטור ובקרה חכמים של מגוון נכסי אנרגיה בתוך משקי בית, מבנים ואתרים גדולים יותר.3

יתרה מכך, מערכות ניהול אנרגיה ממלאות תפקיד מכריע בשילוב מקורות אנרגיה מתחדשים מבוזרים (Distributed Energy Resources - DERs) כגון ייצור סולארי ורוח בקנה מידה קטן עד בינוני, אחסון אנרגיה (סוללות) ותחנות טעינה לכלי רכב חשמליים, על ידי אופטימיזציה של זרימת האנרגיה בין רכיבים מגוונים אלה.3

התפתחות מערכות ניהול האנרגיה מניטור ובקרה בסיסיים לפתרונות אופטימיזציה מתוחכמים המונעים על ידי בינה מלאכותית ולמידת מכונה, משקפת צורך גובר בפתרונות ניהול אנרגיה חכמים המסוגלים להתמודד עם המורכבות ההולכת וגדלה של מערכות אנרגיה מודרניות ושילוב מקורות אנרגיה מתחדשים משתנים.5 בקשת המשתמש לבנות מערכת כזו מעידה על צורך מעשי בהבנת הרכיבים והקישוריות, מה שהופך דו"ח טכני ומפורט זה לרלוונטי במיוחד.

## **2. עקרונות בסיסיים של מערכות ניהול אנרגיה**

מערכות ניהול אנרגיה (EMS) מציעות מגוון רחב של פונקציות ליבה:

* **ניטור ובקרה בזמן אמת של צריכת אנרגיה:** מערכות אלו מאפשרות מעקב אחר דפוסי השימוש באנרגיה באזורים שונים ובמערכות שונות (HVAC, תאורה, ציוד) בזמן אמת.1 זה מספק תובנות מיידיות לגבי השימוש באנרגיה ומאפשר זיהוי תחומים לשיפור.
* **זיהוי חוסר יעילות ופסולת אנרגיה:** על ידי ניתוח נתוני הצריכה, מערכות EMS מסייעות באיתור הזדמנויות לעסקים לשפר את יעילות האנרגיה ולהפחית שימוש מיותר באנרגיה.1
* **אופטימיזציה של השימוש וההפצה באנרגיה:** מערכות EMS שולטות באופן דינמי בזרימת האנרגיה בין משאבי אנרגיה מבוזרים מחוברים ומתאימות את הצריכה בהתבסס על ביקוש בזמן אמת, מזג אוויר ואותות תמחור.2
* **ניתוח נתונים ודיווח על ביצועי אנרגיה:** המערכות מספקות דוחות מפורטים על השימוש באנרגיה, יעילות וחיסכון בעלויות כדי ליידע את בעלי העניין ולהנחות החלטות עתידיות.1
* **אוטומציה של תהליכי ניהול אנרגיה:** מערכות EMS מאפשרות אוטומציה של תהליכי ניהול אנרגיה, כגון שליטה אוטומטית במערכות HVAC ותאורה כדי להפחית את צריכת האנרגיה הכוללת וליישר את השימוש באנרגיה עם הצרכים בפועל.1
* **הפחתת עלויות:** על ידי אופטימיזציה של ניצול האנרגיה, בחירת מנויים מתאימים לספקי אנרגיה, אוטומציה של הצריכה בהתבסס על ביקוש ומינוף אסטרטגיות כמו גילוח שיא וארביטראז' של זמן שימוש.1
* **קיימות משופרת:** על ידי מזעור צריכת אנרגיה מיותרת, הפחתת פליטת גזי חממה וקידום השימוש במקורות אנרגיה מתחדשים.1

רכיבי מפתח של מערכת EMS כוללים:

* **חיישנים ומדידים:** מבצעים ניטור אנרגיה בזמן אמת במערכות ובאזורים שונים, אוספים נתונים על פרמטרים סביבתיים, ביצועי ציוד ודפוסי תפוסה.6
* **מערכות בקרה:** מבצעות התאמות אוטומטיות כדי לייעל את השימוש באנרגיה, משפרות את החיסכון באנרגיה ועלולות להאריך את חיי הציוד על ידי מניעת שימוש יתר.7
* **מערכות אחסון וניהול נתונים:** מטפלות בכמויות הגדולות של נתונים שנוצרות על ידי מערכת EMS, ומבטיחות אחסון מאובטח וגישה נוחה לניתוח ודיווח.7
* **ממשק משתמש:** לוחות מחוונים, פורטלי אינטרנט ואפליקציות מובייל מאפשרים למנהלי מתקנים ולבעלי עניין להמחיש נתוני אנרגיה ולשלוט בהגדרות, ומאפשרים התאמות ידניות בעת הצורך.6
* **בקר מערכת ניהול אנרגיה (חומרה):** מותקן פיזית באתר, שומר על תקשורת עם משאבי אנרגיה מבוזרים ואוסף נתוני תפעול בזמן אמת.4
* **פלטפורמות תוכנה מבוססות ענן:** מעבדות נתונים בזמן אמת, מייעלות באופן מתמיד את משאבי האנרגיה המבוזרים בהתבסס על ייצור וצריכה, ושומרות נתונים היסטוריים למטרות דיווח.4

מערכות EMS מוצאות יישומים במגזרים שונים:

* **מערכות ניהול אנרגיה לבניינים (BEMS):** מיועדות לניטור, בקרה ואופטימיזציה של השימוש באנרגיה בבנייני מגורים, מסחר ותעשייה, ניהול HVAC, תאורה, אבטחה ומערכות אחרות.3
* **מערכות ניהול אנרגיה לבית (HEMS):** מערכות EMS בקנה מידה קטן המיועדות לניטור וניהול צריכת החשמל של משקי בית, תוך שילוב מכשירי בית חכם, מקורות אנרגיה מתחדשים וכלי רכב חשמליים.3
* **מערכות ניהול אנרגיה תעשייתיות (IEMS):** מותאמות למתקנים תעשייתיים כמו בתי זיקוק ומפעלי ייצור, תוך התמקדות בניטור תפוקת אנרגיה מסביב לשעון וניתוח נתונים כדי לעמוד בתקני פליטה ולהפחית עלויות.2
* **מערכות ניהול אנרגיה קהילתיות (CEMS):** משתמשות בסוגים שונים של מערכות EMS כדי לנהל ולהפחית את צריכת החשמל של קהילה או עיר שלמה, תוך שילוב מקורות מתחדשים, אחסון וטכנולוגיות רשת חכמה.11
* **מערכות ניהול אנרגיה לרשתות חשמל:** כלי עזר ממוחשבים המשמשים מפעילי רשתות חשמל לניטור, בקרה ואופטימיזציה של ביצועי מערכות הייצור או ההולכה.7

| **פונקציונליות עיקרית** | **תיאור** | **יתרונות עיקריים** |
| --- | --- | --- |
| ניטור ובקרה בזמן אמת | מעקב אחר צריכת האנרגיה במערכות ומיקומים שונים | הפחתת צריכת אנרגיה, אופטימיזציה של השימוש |
| זיהוי חוסר יעילות | איתור אזורים של בזבוז אנרגיה ודליפות | הפחתת עלויות, שיפור יעילות |
| שליטה אוטומטית | התאמות אוטומטיות של מערכות כמו HVAC ותאורה | חיסכון באנרגיה, הארכת חיי הציוד |
| ניתוח נתונים ודיווח | הפקת דוחות מפורטים על השימוש באנרגיה | קבלת החלטות מושכלות, מעקב אחר ביצועים |
| אופטימיזציה של זרימת האנרגיה | ניהול דינמי של זרימת האנרגיה בין רכיבים | שיפור היעילות, הפחתת עלויות שיא |

## **3. ייצור חשמל בקנה מידה קטן עד בינוני עבור EMS**

* **מערכות סולאריות פוטו-וולטאיות (PV):**
  + הגדרת מערכות סולאריות פוטו-וולטאיות והעיקרון הבסיסי של המרת אור שמש לחשמל ישיר (DC) באמצעות תאים פוטו-וולטאיים.18
  + סוגי ממירים סולאריים, כולל ממירים מחרוזתיים (חסכוניים להתקנות פשוטות יותר), מיקרו-ממירים (ביצועים משופרים ברמת הפאנל), אופטימיזטורים של הספק (ויסות מתח וזרם להגדלת התפוקה) וממירים היברידיים (ניהול אחסון אנרגיה ואינטראקציות עם הרשת).18
  + התפקיד הקריטי של טכנולוגיית מעקב נקודת הספק מרבית (Maximum Power Point Tracking - MPPT) בממירים סולאריים כדי להבטיח שמערכת ה-PV פועלת ביעילות שיא על ידי התאמה מתמשכת של המתח והזרם כדי למקסם את תפוקת ההספק בתנאי שמש וטמפרטורה משתנים.18
  + שילוב ממירים סולאריים עם EMS באמצעות ממשקים פתוחים (לדוגמה, Modbus RTU/TCP, Fronius Solar API) המאפשרים למערכות צד שלישי לגשת לנתוני הממיר לצורך ניטור, בקרה ואופטימיזציה של ייצור אנרגיה וצריכה עצמית.20
  + מיקסום עצמאות אנרגטית והפחתה משמעותית של עלויות האנרגיה באמצעות שימוש ב-EMS לניהול חכם של עודפי אנרגיה סולארית, הפנייתם לטעינת סוללות, הפעלת מכשירים אחרים כמו כלי רכב חשמליים או הזנתם חזרה לרשת כאשר המחירים גבוהים.3
  + טווח גדלים אופייני למערכות סולאריות בקנה מידה קטן עד בינוני, המסווגות בדרך כלל כמגורים (פחות מ-10 קילוואט, לרוב חד-פאזי), מסחרי קטן (10 עד 50 קילוואט, בדרך כלל תלת-פאזי) ומסחרי (50 עד 100 קילוואט, תלת-פאזי).22
* **מערכות טורבינות רוח:**
  + העיקרון הבסיסי של טורבינות רוח הממירות את האנרגיה הקינטית של הרוח לאנרגיה מכנית על ידי סיבוב להבים, אשר לאחר מכן מסובבים גנרטור לייצור חשמל.23
  + סוגי טורבינות רוח, בעיקר טורבינות רוח ציר אופקי (HAWT) וטורבינות רוח ציר אנכי (VAWT), כאשר VAWT עשויות להתאים יותר לסביבות עירוניות בשל יכולתן להתמודד עם רוחות סוערות וגודלן הקטן יותר.24 לטורבינות VAWT עלויות תחזוקה נמוכות יותר.
  + אתגרים משמעותיים הקשורים למערכות קצירת אנרגיית רוח המשולבות בבניינים באזורים עירוניים, כולל תנאי רוח סוערים ובלתי צפויים, פוטנציאל ליצירת רעש וחששות בטיחותיים הקשורים לתפעול ותחזוקה.24
  + שילוב טורבינות רוח עם EMS לניטור בזמן אמת של פרמטרים כמו מהירות רוח ותפוקת חשמל, כמו גם הפעלת יכולות בקרה מרחוק של פעולות הטורבינה כדי לייעל את ייצור האנרגיה.26
  + החשיבות של הקפדה על דרישות חיבור לרשת וקודי רשת מעודכנים עבור חוות רוח כדי להבטיח את פעולתן היציבה והאמינה ותמיכה ביציבות הרשת הכוללת, תוך התייחסות לנושאים כמו תנודות מתח ותדר.27
* **תקני ממשק חשמלי ושיקולים לשילוב ייצור עם EMS:**
  + הבטחת תאימות חשמלית בין תפוקת ממירים סולאריים וגנרטורי טורבינות רוח (AC או DC, רמות מתח, תדר) לבין דרישות הקלט של מערכת EMS לניטור ובקרה, לעיתים קרובות כולל שימוש בממירי הספק אלקטרוניים לתאימות לרשת.29
  + החשיבות של הקפדה על תקנים כגון IEEE 1547 לחיבור בטוח ואמין של משאבי אנרגיה מבוזרים, כולל אנרגיה סולארית ורוח, עם מערכת החשמל, תוך כיסוי היבטים כמו ויסות מתח ותגובת תדר.30
  + שימוש בפרוטוקולי תקשורת סטנדרטיים (לדוגמה, Modbus TCP/IP, RS485) כדי להקל על חילופי נתונים חלקים בין ממירים סולאריים ובקרי טורבינות רוח למערכת EMS לצורך ניטור, בקרה ואופטימיזציה יעילים של המערכת כולה.21

בחירת טכנולוגיית הממיר הסולארי משפיעה באופן ישיר על היכולת של מערכת EMS לייעל את השימוש באנרגיה, לנהל את אחסון הסוללות ולקיים אינטראקציה עם הרשת, זאת בשל יכולות תקשורת ופונקציונליות משתנות. בעוד שאנרגיה סולארית מציעה נתיב שילוב פשוט וניתן להרחבה יותר עבור EMS בקנה מידה קטן עד בינוני, אנרגיית רוח יכולה להוות תוספת חשובה, במיוחד באזורים גאוגרפיים ספציפיים או עבור מערכות היברידיות, בתנאי שהאתגרים הקשורים לפריסה עירונית וחיבור לרשת מטופלים כראוי באמצעות תכנון קפדני ובחירת טכנולוגיה מתאימה. הקפדה על תקני ממשק חשמלי מבוססים ושימוש בפרוטוקולי תקשורת סטנדרטיים הם בסיסיים להבטחת שילוב בטוח, אמין ויעיל של מקורות ייצור חשמל סולאריים ורוח במערכת EMS, מה שמאפשר חילופי נתונים חלקים ובקרה מתואמת של מקורות אנרגיה מתחדשים אלה.

## **4. טכנולוגיות אחסון אנרגיה במערכות EMS משולבות**

* **בחינת טכנולוגיות אחסון אנרגיה שונות:**
  + סוללות, כולל סוללות ליתיום-יון (בעלות צפיפות אנרגיה גבוהה, מחזור חיים ארוך, בשימוש נרחב בכלי רכב חשמליים ובאחסון רשת), סוללות עופרת-חומצה (טכנולוגיה בוגרת, עלות נמוכה יותר אך מחזור חיים קצר יותר, משמשות לעיתים קרובות ככוח גיבוי), סוללות זרימה (אחסון לטווח ארוך, ניתנות להרחבה), סוללות נתרן-יון (מתפתחות כחלופה זולה יותר פוטנציאלית לליתיום-יון) ואחרות.33
  + מערכות מכניות כמו אחסון הידרואלקטרי שאוב (הצורה הנפוצה ביותר של אחסון רשת, דורש מאגרי מים בגבהים שונים), אחסון אנרגיה באמצעות אוויר דחוס (CAES) (דוחס אוויר לאחסון תת-קרקעי) וגלגלי תנופה (אוגרים אנרגיה קינטית לצרכי הספק קצרים).33
  + מערכות אחסון תרמיות המשתמשות בחומרים כמו מלח מותך או קרח לאחסון ושחרור אנרגיה בצורת חום או קור, המשמשות לעיתים קרובות בשילוב עם אנרגיה סולארית תרמית או לקירור בניינים.34
* **התמקדות במערכות אחסון אנרגיה בסוללות (BESS) לשילוב עם EMS:**
  + רכיבי מפתח של BESS כוללים תאי סוללה (יחידות אחסון האנרגיה הבסיסיות), מערכת ניהול סוללות (BMS) (אחראית על ניטור, הגנה ואופטימיזציה של הסוללה), מערכת המרת הספק (PCS) (ממירה DC ל-AC ובחזרה) ומערכת ניהול האנרגיה (EMS) הכוללת.38
  + תפקידי מערכת ניהול הסוללות (BMS) חיוניים לפעולה בטוחה ויעילה, כולל מדידת מתח תא, זרם וטמפרטורה; איזון מטען בין תאים; מתן הגנה מפני טעינת יתר/פריקת יתר והתחממות יתר; ורישום נתוני ביצועים לצורך ניתוח.38
  + שילוב חלק של BMS עם EMS חיוני לניהול מחזורי הטעינה והפריקה, הבטחת ביצועים מיטביים של הסוללה והארכת חיי הסוללה, ובסופו של דבר קביעת התשואה המסחרית על ההשקעה.9
  + התפקיד הקריטי של BESS בהחלקת האופי הבלתי יציב של מקורות אנרגיה מתחדשים כמו אנרגיה סולארית ורוח, הבטחת אספקת אנרגיה יציבה ואמינה והצעת כוח גיבוי במהלך הפסקות חשמל או תקופות של ייצור מתחדש נמוך.39
* **פרוטוקולי תקשורת למערכות אחסון אנרגיה בסוללות ול-EMS:**
  + פרוטוקולים תעשייתיים נפוצים כגון Modbus (RTU ו-TCP/IP) נמצאים בשימוש תדיר לתקשורת בין BMS, PCS ו-EMS, ומאפשרים ניטור ובקרה של מערכת הסוללות.46
  + תקנים מתפתחים בקוד פתוח כגון EEBus מקלים על תקשורת חלקה וחכמה בין מכשירי אנרגיה שונים, כולל אחסון סוללות ו-EMS, ללא תלות ביצרן או בטכנולוגיה.3
  + החשיבות של קביעת ממשקי תקשורת ניתנים לפעולה ושימושיים בקלות כדי להבטיח תאימות וחליפין נתונים יעילים בין רכיבים שונים של מערכת אחסון האנרגיה ומערכת EMS.52

בחירת טכנולוגיית אחסון האנרגיה צריכה להתבסס על דרישות היישום הספציפיות, תוך התחשבות בגורמים כמו משך האחסון הדרוש, צפיפות הספק ואנרגיה, יעילות, עלות והשפעה סביבתית. תקשורת יעילה בין BMS ל-EMS היא בעלת חשיבות עליונה למיקסום היתרונות של אחסון אנרגיה, ומאפשרת החלטות חכמות לגבי טעינה, פריקה ואופטימיזציה כללית של המערכת בהתבסס על נתונים בזמן אמת ויעדים תפעוליים.

| **טכנולוגיה** | **צפיפות אנרגיה (Wh/kg)** | **צפיפות הספק (W/kg)** | **מחזור חיים** | **יעילות (%)** | **קצב פריקה עצמית** | **בטיחות** | **יישומים אופייניים** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ליתיום-יון | 100-265 | 250-1400 | 1000-5000+ | 85-99 | נמוך | גבוה (דורש BMS) | כלי רכב חשמליים, אחסון רשת, אלקטרוניקה ניידת |
| עופרת-חומצה | 30-50 | 75-200 | 500-1500 | 80-90 | בינוני | בינונית | כוח גיבוי, כלי רכב, אחסון מחוץ לרשת |
| סוללות זרימה | 10-70 | 20-100 | 10,000+ | 75-85 | נמוך | גבוה | אחסון רשת בקנה מידה גדול, מיקרו-רשתות |
| נתרן-יון | 90-160 | 150-300 | 1000-5000+ | 80-90 | בינוני | בינונית | כלי רכב חשמליים, אחסון רשת |

## **5. עמדות טעינה לכלי רכב חשמליים וקישוריות EMS**

* **סקירה כללית של סוגי עמדות טעינה לכלי רכב חשמליים:**
  + מטען רמה 1 (טעינה איטית): משתמש בשקע AC סטנדרטי של 120 וולט, ומוסיף כ-8 ק"מ טווח נסיעה לשעה, מתאים בעיקר לטעינה לילית בבית.53
  + מטען רמה 2 (טעינה מהירה): דורש מעגל חשמלי ייעודי של 240 וולט או 208 וולט AC, ומוסיף בממוצע כ-40 ק"מ טווח נסיעה לשעה, נפוץ בבתים, במקומות עבודה ובאזורים ציבוריים.53
  + מטען רמה 3 (טעינה מהירה DC): מספק את הטעינה המהירה ביותר, ומוסיף עד 400 ק"מ טווח נסיעה לשעה, מתאים לנסיעות ארוכות טווח ונמצא בדרך כלל לאורך צירי תנועה מרכזיים ובאזורים מסחריים.53
* **סוגי מחברי טעינה לכלי רכב חשמליים** ותאימותם לכלי רכב חשמליים ורמות טעינה שונות, כולל SAE J1772 (סוג 1, נפוץ בצפון אמריקה), מחבר טסלה (בלעדי לטסלה, אך קיימים מתאמים), CCS (מערכת טעינה משולבת, סוגים 1 ו-2, לטעינה ברמה 2 ו-3), CHAdeMO (מחבר טעינה מהירה DC) ו-GB/T (תקני AC ו-DC בסין).54
* **פרוטוקולים המאפשרים קישוריות בין עמדות טעינה לכלי רכב חשמליים ומערכות EMS:**
  + פרוטוקול נקודת טעינה פתוחה (Open Charge Point Protocol - OCPP) הוא תקן קוד פתוח בשימוש נרחב לתקשורת בין עמדות טעינה לכלי רכב חשמליים ומערכות ניהול מרכזיות, המאפשר פונקציות כמו ניטור מרחוק, בקרה, טעינה חכמה וחיוב.60
  + פרוטוקול טעינה חכמה פתוח (Open Smart Charging Protocol - OSCP) מיועד לתקשורת בין מערכות ניהול נקודות טעינה ומערכות ניהול אנרגיה כדי לייעל את טעינת כלי הרכב החשמליים בהתבסס על קיבולת וביקוש הרשת.61
  + ממשק נקודת טעינה פתוח (Open Charge Point Interface - OCPI) מקל על תקשורת וחליפת נתונים בין רשתות טעינה שונות של כלי רכב חשמליים וספקי שירותי ניידות אלקטרונית, ומאפשר נדידה ותפעול הדדי.61
  + תקן ISO 15118 הוא תקן בינלאומי לתקשורת דיגיטלית בין כלי רכב חשמליים ועמדות טעינה, המאפשר תכונות כמו "הכנס וטען" (אימות וחיוב אוטומטיים) והעברת הספק דו-כיוונית (V2G).61
  + פרוטוקול Modbus משמש לתקשורת פנימית בתוך עמדות טעינה לכלי רכב חשמליים לניטור רכיבים כמו מדי הספק וחיישנים, ולשילוב עם מערכות ניהול אנרגיה רחבות יותר לצורך ניטור ובקרה.60
* **פונקציות טעינה חכמות** המופעלות על ידי שילוב EMS, כגון ניהול עומסים דינמי כדי למנוע עלויות שיא של ביקוש ולוחות זמנים אופטימליים לטעינה בהתבסס על זמינות אנרגיה מתחדשת והעדפות משתמשים.3

בחירת רמת תחנת הטעינה לכלי רכב חשמליים וסוג המחבר תלויה בשימוש המיועד (מגורים, ציבורי, טעינה מהירה) ובסוגי כלי הרכב החשמליים המטופלים. פרוטוקולי תקשורת סטנדרטיים כמו OCPP הם קריטיים להבטחת ניהול קל של תשתית טעינה לכלי רכב חשמליים ושילובה עם מערכות ניהול אנרגיה, ללא קשר ליצרן עמדת הטעינה או לפלטפורמת EMS. ניהול אנרגיה חכם באמצעות EMS מאפשר אופטימיזציה של לוחות זמנים לטעינה של כלי רכב חשמליים בהתבסס על גורמים כמו עומס רשת, מחירי חשמל וזמינות אנרגיה מתחדשת, מה שמוביל לחיסכון בעלויות ויציבות רשת.

| **רמת טעינה** | **הספק (kW)** | **מתח (V)** | **מהירות טעינה** | **מיקומים אופייניים** | **סוגי מחברים נפוצים** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| רמה 1 | 1.4 | 120 | 8 ק"מ טווח לשעה | בית | SAE J1772 סוג 1 |
| רמה 2 | 3-20 | 208-240 | 25-50 ק"מ טווח לשעה | בית, מקום עבודה, ציבורי | SAE J1772 סוג 1, טסלה |
| רמה 3 (DC) | 50-350 | 400-900 | 160-480 ק"מ טווח לשעה | תחנות טעינה ציבוריות מהירות | CCS סוג 1 ו-2, CHAdeMO, טסלה |

## **6. פרוטוקולי תקשורת ותקנים עבור רכיבי EMS**

* **בחינה מעמיקה של פרוטוקולי תקשורת מרכזיים:**
  + Modbus (RTU/TCP): פרוטוקול בשימוש נרחב, פשוט ואמין לאוטומציה תעשייתית, מערכות ניהול בניינים וניהול אנרגיה, המאפשר חילופי נתונים בין מכשירים שונים.60
  + CAN bus: פרוטוקול אמין ומהיר המשמש בדרך כלל לתקשורת בין מיקרו-בקרים ומכשירים בתוך כלי רכב, מערכות סוללות וציוד תעשייתי.46
  + IEC 61850: תקן בינלאומי לתקשורת בתחנות משנה חשמליות, בשימוש גובר לשילוב משאבי אנרגיה מבוזרים וניהול רשתות חכמות, המציע יכולות תקשורת מהירות ובזמן אמת.52
  + EEBus: תקן קוד פתוח ואוניברסלי המיועד לאינטראקציה חלקה וחכמה בין מגוון רחב של מכשירי אנרגיה בסביבות מגורים ומסחר, כולל מכשירי חשמל ביתיים, כלי רכב חשמליים, משאבות חום ומערכות ניהול אנרגיה.3
  + Open Charge Point Protocol (OCPP): פרוטוקול ייעודי לתקשורת בין עמדות טעינה לכלי רכב חשמליים ומערכות ניהול מרכזיות, המבטיח עצמאות מספקים ומאפשר פונקציות טעינה חכמות שונות.60
* **פרוטוקולי תקשורת ותקנים רלוונטיים נוספים:**
  + DNP3 (Distributed Network Protocol): משמש לעיתים קרובות בצפון אמריקה לתקשורת עם מערכות SCADA במגזר השירותים, ומציע תכונות כמו חותמות זמן ודיווח אירועים.52
  + BACnet (Building Automation and Control Network): תקן בשימוש נרחב לאוטומציה של בניינים, המאפשר תקשורת בין מערכות בניין מגוונות כמו HVAC, תאורה ואבטחה.2
  + LONWORKS (Local Operating Network): פלטפורמת רשת המיועדת ליישומי בקרה בבניינים ובמערכות אחרות, המאפשרת למכשירים להחליף מידע ישירות על פני מדיה שונה.100
  + IEEE 2030.5: תקן חשוב ליישומי רשת חכמה, במיוחד לתקשורת בין משאבי אנרגיה מבוזרים (כולל כלי רכב חשמליים) והרשת, התומך בפונקציות כמו תגובה לביקוש ו-V2G.60
* החשיבות בבחירת הפרוטוקולים המתאימים ביותר בהתבסס על המאפיינים הספציפיים ודרישות התקשורת של כל רכיב בתוך מערכת EMS משולבת.
* תפקידם של ממירים ושל שערים פרוטוקולים בהקלת פעולה הדדית והחלפת נתונים בין מכשירים ומערכות המשתמשים בפרוטוקולי תקשורת שונים.60

בחירת פרוטוקולי תקשורת היא החלטה תכנונית קריטית עבור מערכת EMS משולבת, שכן היא משפיעה ישירות על יכולת המערכת לתפקד בצורה מגובשת ויעילה. פרוטוקולים שונים מציעים רמות שונות של מהירות, אמינות ותכונות, מה שהופך את זה חיוני לבחור פרוטוקולים המתאימים לצרכים הספציפיים של כל רכיב ולדרישות המערכת הכוללות. בעוד שתקנים פתוחים כמו Modbus ו-CAN bus נמצאים בשימוש נרחב בשל פשטותם ואימוצם הרחב, פרוטוקולים מתקדמים יותר כמו IEC 61850 ו-EEBus הופכים רלוונטיים יותר ויותר עבור מערכות ניהול אנרגיה מודרניות הדורשות אבטחה חזקה, תקשורת בזמן אמת ושילוב חלק של נכסי אנרגיה מגוונים.

| **שם הפרוטוקול** | **מכשירים/יישומים אופייניים** | **ממשק חומרה בסיסי** | **תכונות מפתח** | **התאמה לרכיבי EMS** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Modbus RTU/TCP | מדי הספק, חיישנים, בקרים, ממירים סולאריים, טורבינות רוח | טורי (RS232/RS485), Ethernet | פשוט, בשימוש נרחב, אמין | ניטור, בקרה |
| CAN bus | מערכות סוללות, כלי רכב חשמליים, ציוד תעשייתי | טורי (CAN) | מהיר, אמין, חסין לרעש | BMS, כלי רכב חשמליים |
| IEC 61850 | ציוד תחנות משנה, משאבי אנרגיה מבוזרים | Ethernet | מהיר, בזמן אמת, אבטחה גבוהה, אינטראופרביליות | ניהול רשת, שילוב DER |
| EEBus | מכשירי חשמל ביתיים, כלי רכב חשמליים, משאבות חום, EMS | IP (Ethernet, Wi-Fi) | קוד פתוח, אוניברסלי, אינטראופרביליות | ניהול אנרגיה ביתי |
| OCPP | עמדות טעינה לכלי רכב חשמליים | IP (Ethernet, סלולרי) | תקן פתוח, ניהול מרחוק, טעינה חכמה | ניהול עמדות טעינה |

## **7. פונקציות מרכזיות של EMS לבקרה ואופטימיזציה של זרימת החשמל**

* ניטור בזמן אמת ואיסוף נתונים מכל הרכיבים המחוברים, כולל ייצור הספק מיידי, צריכת אנרגיה, רמות אחסון, מתח, זרם ותדר.3
* ניתוח נתונים מתקדם ותחזיות של ייצור אנרגיה מתחדשת (קרינת שמש, מהירות רוח), דפוסי ביקוש עומסים ומחירי חשמל כדי לאפשר אסטרטגיות ניהול אנרגיה יזומות.3
* שליטה דינמית בזרימת האנרגיה בין מקורות ייצור חשמל (סולארי, רוח), מערכות אחסון אנרגיה (סוללות) ונקודות צריכה (עומסי בניין, טעינת כלי רכב חשמליים) בהתבסס על נתונים בזמן אמת ואלגוריתמי אופטימיזציה.3
* יישום אלגוריתמי אופטימיזציה עם יעדים שונים, כגון מזעור עלויות האנרגיה על ידי ניצול חשמל בשעות שפל ומקסום צריכה עצמית של אנרגיה מתחדשת, מקסום עצמאות אנרגטית ואי תלות ברשת, הפחתת פליטת פחמן כוללת ותרומה לייצוב רשת החשמל באמצעות תמיכה בהספק ריאקטיבי וויסות תדר.3
* יכולות ניהול בצד הביקוש, כולל העברת עומסים (העברת פעילויות צורכות אנרגיה גבוהה לשעות שפל או לשעות ייצור מתחדש גבוה), גילוח שיא (הפחתת ביקוש שיא מהרשת באמצעות שימוש באנרגיה מאוחסנת) והשתתפות בתוכניות תגובה לביקוש שמציעות חברות החשמל.3
* שילוב עם אותות רשת ומידע על תמחור חשמל כדי לקבל החלטות חכמות מתי לשאוב חשמל מהרשת (בתקופות מחירים נמוכים), מתי להשתמש באנרגיה המיוצרת במקום ומתי להזין עודפי אנרגיה חזרה לרשת (בתקופות מחירים גבוהים).3
* אסטרטגיות בקרה לרכיבים ספציפיים:
  + בקרת ממיר סולארי כדי למקסם את ניצול אנרגיית ה-PV, לנהל הספק ריאקטיבי ליציבות הרשת ולהגיב לתנודות מתח ותדר ברשת.3
  + בקרת טורבינות רוח כדי לייעל את הפקת ההספק על ידי התאמת זווית הלהבים ומהירות הרוטור בהתבסס על תנאי הרוח, לספק תמיכה בהספק ריאקטיבי לרשת ולתרום לוויסות התדר.26
  + ניהול טעינה ופריקה של סוללות כדי לייעל את חיי הסוללה, להבטיח כוח גיבוי מספק ולמנף אנרגיה מאוחסנת לחיסכון בעלויות או לשירותי רשת.9
  + אופטימיזציה של טעינת כלי רכב חשמליים על ידי חלוקה דינמית של הספק כדי למזער את ביקוש השיא, תזמון טעינה בהתבסס על מחירי חשמל ודרישות נסיעה, ובפוטנציה לאפשר טעינה דו-כיוונית (V2G) לתמיכה ביציבות הרשת.3

בקרת זרימת הספק ואופטימיזציה יעילה במערכת EMS משולבת מסתמכות על לולאת משוב מתמשכת של איסוף נתונים בזמן אמת, אנליטיקה מתקדמת ופעולות בקרה חכמות, המאפשרות למערכת להסתגל לתנאים משתנים ולייעל את השימוש באנרגיה על פני כל הנכסים המחוברים. יכולתה של מערכת EMS ליישם אלגוריתמי אופטימיזציה מתוחכמים, כולל בקרה חיזויית ולמידת מכונה, מאפשרת השגת יעדים מרובים ועלולים להיות מנוגדים בו-זמנית, כגון מזעור עלויות תוך מקסום השימוש באנרגיה מתחדשת והבטחת יציבות הרשת.

## **8. דוגמאות ומקרי בוחן של מערכות ניהול אנרגיה משולבות**

* **מקרי בוחן למגורים:**
  + מערכות המשלבות PV סולארי, אחסון סוללות, משאבות חום וטעינת כלי רכב חשמליים, המדגימות רמות גבוהות של עצמאות אנרגטית ופליטות פחמן מופחתות (115).
  + דוגמאות של מערכות ניהול אנרגיה ביתיות (HEMS) המשתמשות במקורות אנרגיה מתחדשים ובאחסון אנרגיה כדי להפחית באופן משמעותי את עלויות האנרגיה של משקי הבית ולייעל את השימוש בחשמל המיוצר עצמית, תוך שילוב לעיתים קרובות של מכשירי חשמל חכמים והתחשבות בתעריפי זמן שימוש (116).
  + מקרי בוחן הממחישים את היתרונות של שילוב מדי מים חכמים עם HEMS כדי לספק לבעלי בתים תובנות בזמן אמת לגבי צריכת האנרגיה שלהם, מה שמאפשר להם לקבל החלטות מושכלות ולייעל את השימוש באנרגיה שלהם לחיסכון בעלויות (120).
* **מקרי בוחן למסחר:**
  + יישום של מערכות ניהול אנרגיה לבניינים המופעלות על ידי בינה מלאכותית, המנתחות נתונים ממערכות ניהול בניינים קיימות וממקורות חיצוניים כדי לייעל את צריכת האנרגיה בזמן אמת, מה שמאפשר השתתפות בתוכניות תגובה לביקוש והפחתת עלויות אנרגיה כוללות עבור בנייני מסחר (121).
  + דוגמאות של פלטפורמות ניהול אנרגיה משולבות המשמשות בנדל"ן מסחרי לניטור צריכת אנרגיה במערכות בניין שונות, זיהוי חוסר יעילות ויישום אסטרטגיות ליעילות אנרגטית ותגובה לביקוש, מה שמוביל לחיסכון משמעותי בעלויות ולערך בניין משופר (6).
* **מקרי בוחן לתעשייה:**
  + דוגמאות מהעולם האמיתי של מערכות ניהול אנרגיה משולבות המיושמות במתקני ייצור כדי לספק ניטור בזמן אמת של צריכת אנרגיה ברמת התהליך והמתקן, מה שמאפשר ניתוח מפורט של יעילות אנרגטית וזיהוי גורמי בזבוז אנרגיה, וכתוצאה מכך הפחתות משמעותיות בעלויות התפעול ושיפור הקיימות (125).
  + מקרי בוחן המציגים את אימוץ מערכות ניהול אנרגיה ISO 50001 על ידי יצרנים תעשייתיים כדי ליצור מסגרת לשיפור מתמיד בביצועי האנרגיה, מה שמוביל לחיסכון משמעותי באנרגיה ובעלויות שנתיות במספר מתקנים (15).
  + דוגמאות לשילוב טכנולוגיות תעשייה 4.0 ו-5.0, כגון IoT, AI ולמידת מכונה, בתוך מערכות ניהול אנרגיה תעשייתיות כדי לשפר את הניטור, הבקרה והאופטימיזציה של צריכת האנרגיה, לשפר את היעילות ולתרום ליעדי קיימות (129).

מקרי הבוחן המגוונים מדגימים כי ניתן ליישם בהצלחה מערכות EMS משולבות במגזרים ובהיקפים שונים, תוך השגת יתרונות משמעותיים במונחים של יעילות אנרגטית, הפחתת עלויות והשפעה סביבתית משופרת, המותאמים לצרכים הספציפיים של כל יישום. המגמה הגוברת לשלב טכנולוגיות מתקדמות כמו AI ו-IoT במערכות ניהול אנרגיה, כפי שנראה במספר מקרי בוחן, מצביעה על עתיד שבו מערכות EMS יהיו חכמות, יזומות ויכולות לייעל מערכות אנרגיה מורכבות עם התערבות אנושית מינימלית.

## **9. תקנות וחוקים רלוונטיים בישראל בנוגע להקמה ותפעול של מערכות ניהול אנרגיה משולבות**

* סקירה כללית של מדיניות האנרגיה הלאומית של ישראל, כולל יעדים שאפתניים להגדלת חלק האנרגיה המתחדשת בייצור החשמל ל-30% עד 2030, עם דגש חזק על פיתוח אנרגיה סולארית להשגת מטרה זו, ויעדים להפחתת פליטת גזי חממה (130).
* תקנות המחייבות התקנת מערכות פוטו-וולטאיות סולאריות (PV) על בניינים חדשים שאינם למגורים בשטח גג של לפחות 250 מ"ר ועל בתי מגורים צמודי קרקע חדשים עם גגות גדולים מ-100 מ"ר, עם קיבולת ייצור מינימלית של 5 קילוואט (138).
* תוכנית האנרגיה הלאומית ליעילות אנרגטית (NEEP) בישראל, הפועלת בין השנים 2020 ל-2030, ומטרתה להפחית את עוצמת האנרגיה ב-18% עד 2030 ולקדם את אימוץ מקורות אנרגיה מתחדשים וטכנולוגיות מתקדמות לייעול השימוש והניהול באנרגיה במגזרים שונים (130).
* אימוץ תקן ISO 50001 למערכות ניהול אנרגיה כתקן הישראלי (ת"י ISO 50001), המעודד ארגונים בכל הגדלים, כולל גופים תעשייתיים, מסחריים וציבוריים, ליישם גישה שיטתית לניהול ושיפור ביצועי האנרגיה שלהם (142).
* תקנות ותמריצים כספיים, כגון תעריפי הזנה ומדידה נטו, שנועדו לתמוך בפיתוח ופריסה של פרויקטים של אנרגיה מתחדשת, כולל אנרגיה סולארית ורוח, על ידי הצעת מחירים מובטחים עבור חשמל המיוצר והאפשרות לצרכנים לקזז את חשבונותיהם באמצעות עודפי אנרגיה המוזנים חזרה לרשת (133).
* מסגרת רגולטורית מתפתחת עבור מתקני אחסון אנרגיה בישראל, כולל הנחיות לגבי קיבולות, מיקומים מותרים (ליד תחנות כוח פוטו-וולטאיות, אזורי תעשייה, חניונים, מבני ציבור ואפילו אזורי מגורים עבור יחידות קטנות יותר) ותקני בטיחות לתמיכה בשילוב אנרגיה מתחדשת ושיפור יציבות הרשת (144).
* תקנים והוראות מפורטות להתקנה, בטיחות ותפעול של עמדות טעינה לכלי רכב חשמליים בישראל, כולל עמידה בתקן הישראלי ת"י 61851 (נגזר מ-IEC 61851), דרישות להגנה מפני הארקה, מפרטי כבלי טעינה ובדיקות סדירות על ידי חשמלאים מורשים (151).
* גופים ממשלתיים מרכזיים המעורבים בפיקוח ורגולציה של מגזר האנרגיה, כולל משרד האנרגיה והתשתיות (אחראי על גיבוש מדיניות אנרגיה והצבת יעדים לאנרגיה מתחדשת), רשות החשמל (מסדירה את שוק החשמל ומבטיחה ציות) וחברת החשמל לישראל (IEC) (מנהלת את הולכת והפצת החשמל ועוברת רפורמות להגברת היעילות והתחרות) (131).

ממשלת ישראל מקדמת באופן פעיל יעילות אנרגטית ואימוץ מקורות אנרגיה מתחדשים באמצעות שילוב של תקנות, יעדים ותמריצים, ויוצרת סביבה נוחה לפיתוח ויישום של מערכות ניהול אנרגיה משולבות במגזרים שונים. ציות לתקנים ולתקנות ישראליות חיוני לכל מי שמתכנן לבנות או להפעיל מערכת ניהול אנרגיה משולבת במדינה, תוך הבטחת בטיחות, תאימות לרשת וזכאות לתמריצים פוטנציאליים.

| **תחום תקנה/תקן** | **שם התקנה/התקן** | **דרישות/יעדים מרכזיים** | **מגזר רלוונטי** | **גוף מנפיק/מנהל** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ייצור אנרגיה מתחדשת | החלטות ממשלה 465 ו-171 | 30% ייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת עד 2030 | מגורים, מסחר, תעשייה | ממשלת ישראל |
| אנרגיה סולארית | תקנות התקנת מערכות סולאריות | חובה על בניינים חדשים (מעל גודל מסוים) | מגורים, מסחר | משרד האנרגיה והתשתיות, מועצת התכנון הלאומית |
| יעילות אנרגטית | תוכנית האנרגיה הלאומית ליעילות אנרגטית (NEEP) | שיפור עוצמת האנרגיה הסופית ב-18% עד 2030 | מגורים, מסחר, תעשייה, ציבורי | משרד האנרגיה והתשתיות |
| ניהול אנרגיה | ת"י ISO 50001 | הטמעת מערכת ניהול אנרגיה שיטתית | מגורים, מסחר, תעשייה | מכון התקנים הישראלי |
| אחסון אנרגיה | תוכנית מתאר ארצית לאחסון אנרגיה | הנחיות לגבי קיבולות, מיקומים ותנאים | מגורים, מסחר, תעשייה | משרד האנרגיה והתשתיות, מינהל התכנון |
| טעינת כלי רכב חשמליים | ת"י 61851 | תקנים להתקנה, בטיחות ובדיקות של עמדות טעינה | מגורים, מסחר, ציבורי | מכון התקנים הישראלי, משרד האנרגיה והתשתיות |

## **10. מסקנות והמלצות**

מערכות משולבות לניהול אנרגיה מייצגות פתרון מבטיח לייעול השימוש באנרגיה, הפחתת עלויות וקידום קיימות. על ידי שילוב מקורות ייצור חשמל בקנה מידה קטן עד בינוני, אחסון אנרגיה ותשתית טעינה לכלי רכב חשמליים תחת מערכת ניהול מרכזית, משתמשים יכולים להשיג עצמאות אנרגטית רבה יותר, להפחית את ההשפעה הסביבתית שלהם ולנצל את היתרונות הכלכליים של אנרגיה מתחדשת.

בבניית מערכת כזו בישראל, ישנם מספר שיקולים מרכזיים שיש לקחת בחשבון. ראשית, יש לבצע הערכה יסודית של צרכי האנרגיה הספציפיים, דפוסי הצריכה ותנאי האתר כדי לקבוע את ההיקף והתצורה האופטימליים של מערכת ניהול האנרגיה המשולבת. שנית, יש להעריך בקפידה טכנולוגיות שונות לייצור חשמל, כגון מערכות סולאריות פוטו-וולטאיות וטורבינות רוח, בהתבסס על זמינות משאבים מקומיים, מגבלות מקום ועלות-תועלת. בחירת טכנולוגיות אחסון אנרגיה מתאימות, סביר להניח שמערכות אחסון אנרגיה בסוללות (BESS), צריכה להתבסס על רמת עצמאות האנרגיה הרצויה, דרישות כוח גיבוי והצורך להחליק את האופי הבלתי יציב של ייצור אנרגיה מתחדשת.

בעת בחירת עמדות טעינה לכלי רכב חשמליים, יש להתחשב בצרכי המשתמשים המיועדים ובמהירות הטעינה הנדרשת, תוך הקפדה על תאימות למערכת EMS ולתקנים הישראליים הרלוונטיים. תעדוף שימוש בפרוטוקולי תקשורת פתוחים וסטנדרטיים, כגון Modbus, OCPP, EEBus ובמידת הצורך IEC 61850, חיוני להבטחת פעולה הדדית חלקה בין כל רכיבי המערכת המשולבת. יישום אלגוריתמי בקרה ואופטימיזציה חזקים בתוך מערכת EMS יאפשר ניהול יעיל של זרימת האנרגיה, מקסום ניצול האנרגיה המתחדשת והשגת יעדים רצויים, כגון חיסכון בעלויות וקיימות.

בנוסף, חיוני לחקור ביסודיות ולהקפיד על כל התקנות, החוקים והתקנים הישראליים הרלוונטיים הנוגעים להתקנה ותפעול של מערכות אנרגיה מתחדשת, מתקני אחסון אנרגיה ותשתית טעינה לכלי רכב חשמליים, כולל דרישות רישום והיתרים. לבסוף, יש לשקול את חשיבות ההרחבה העתידית בתכנון מערכת EMS כדי להתאים לגידול פוטנציאלי בנכסי האנרגיה או לשינויים בצרכי האנרגיה.

לסיכום, מערכות ניהול אנרגיה משולבות טומנות בחובן פוטנציאל עצום לתרום לעתיד אנרגיה בר-קיימא, גמיש וחסכוני יותר בישראל, תוך התאמה למחויבות הלאומית ליעדי אנרגיה מתחדשת ויעילות אנרגטית ותוך תרומה למאמצים גלובליים נגד שינויי האקלים.

#### עבודות שצוטטו

1. What are Energy Management Systems (EMS)? - Wattsense, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.wattsense.com/blog/building-management/understanding-energy-management-system-ems/>
2. What is an Energy Management System (EMS)? | Accruent, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.accruent.com/resources/blog-posts/energy-management-system>
3. What is an EMS? - Energy Management System explained - gridX, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.gridx.ai/knowledge/what-is-an-energy-management-system>
4. What Is an Energy Management System (EMS) and Why Do You Need One? | PowerFlex, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.powerflex.com/blog/what-is-an-energy-management-system-ems-and-why-do-you-need-one>
5. Commercial and Industrial Energy Management Systems - Codibly, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://codibly.com/blog/articles/commercial-and-industrial-energy-management-systems>
6. Harnessing power smartly: Energy Management Systems in commercial real estate - CIM, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.cim.io/blog/harnessing-power-smartly-energy-management-systems-in-commercial-real-estate>
7. Energy Management System (EMS) | ServiceChannel, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://servicechannel.com/glossary/energy-management-system/>
8. www.gridx.ai, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.gridx.ai/knowledge/what-is-an-energy-management-system#:~:text=An%20EMS%20provides%20real%2Dtime,performance%20across%20an%20entire%20site.>
9. Energy Management System (EMS): A Guide To Optimising Battery Storage - Wattstor, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://wattstor.com/insight/energy-management-system-ems/>
10. A comprehensive review of Building Energy Management Systems (BEMS) for Improved Efficiency, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://wjarr.com/sites/default/files/WJARR-2024-0746.pdf>
11. Types of Energy Management Systems - Enciser, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://enciser.com/types-of-energy-management-systems/>
12. (PDF) Building Energy Management Systems (BEMS) - ResearchGate, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.researchgate.net/publication/326083652_Building_Energy_Management_Systems_BEMS>
13. Barriers to the adoption of energy management systems in residential buildings | Emerald Insight, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/f-12-2023-0113/full/html>
14. Home Energy Management System (HEMS) explained - gridX, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.gridx.ai/knowledge/home-energy-management-system-hems>
15. What Industries Benefit from an Energy Management System?, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.integrityenergy.com/blog/unleashing-efficiency-industries-transformed-by-energy-management-systems/>
16. Energy management system - Wikipedia, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_management_system>
17. Network Manager Energy Management System (EMS) - Hitachi Energy, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.hitachienergy.com/products-and-solutions/grid-and-generation-management-network-manager/network-manager-energy-management-system-ems>
18. How Inverters Enhance Small-Scale Solar Results and Drive Grid Reliability, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.solarwa.org/how_inverters_enhance_small_scale_solar_results_and_drive_grid_reliability>
19. Solar Integration: Inverters and Grid Services Basics - Department of Energy, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-integration-inverters-and-grid-services-basics>
20. Optimize Solar Energy with Enode's API for Solar Inverters, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://enode.com/use-cases/solar-inverters>
21. Connecting Energy: open communication for PV systems - Fronius International, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.fronius.com/en-us/usa/solar-energy/installers-partners/products-solutions/features/connecting-energy>
22. Solar Energy Grid Integration Systems –Energy Storage (SEGIS-ES) - OSTI, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.osti.gov/servlets/purl/1217673>
23. How Do Wind Turbines Work? - Department of Energy, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work>
24. State-of-the-art review of micro to small-scale wind energy harvesting technologies for building integration - Strathprints, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://strathprints.strath.ac.uk/87000/1/Calautit_Johnstone_ECMX_2023_State_of_the_art_review_of_micro_to_small_scale_wind_energy_harvesting_technologies_for_building_integration.pdf>
25. Wind Power Integration with Smart Grid and Storage System: Prospects and Limitations - The Science and Information (SAI) Organization, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://thesai.org/Downloads/Volume11No5/Paper_70-Wind_Power_Integration_with_Smart_Grid.pdf>
26. Turbine and wind farm management - Siemens Xcelerator Global, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://xcelerator.siemens.com/global/en/industries/wind/equipment/turbine-and-wind-farm-management.html>
27. Grid Integration of Offshore Wind Power: Standards, Control, Power Quality and Transmission - NREL, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.nrel.gov/docs/fy24osti/87512.pdf>
28. Wind Energy Grid Integration: Overcoming Challenges and Enhancing Stability, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.cleancurrent.com/wind-energy/wind-energy-grid-integration/>
29. Wind Turbine Operation in Power Systems & Grid Connection Requirements, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://powerquality.blog/2022/03/14/wind-turbine-operation-in-power-systems-grid-connection-requirements/>
30. Solar Inverter Specifications - Energy Library - Tesla, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://energylibrary.tesla.com/docs/Public/Solar/Inverter/InstallManual/en-us/GUID-B09576E6-B7A7-4884-9EEB-884792F4B47C.html>
31. Impact of IEEE 1547 Standard on Smart Inverters and the Applications in Power Systems | NREL, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.nrel.gov/grid/ieee-standard-1547/assets/pdfs/smart-inverters-applications-in-power-systems.pdf>
32. Best monitoring software for this inverter? : r/solar - Reddit, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.reddit.com/r/solar/comments/112tql3/best_monitoring_software_for_this_inverter/>
33. Energy Storage Technologies | EBSCO Research Starters, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.ebsco.com/research-starters/power-and-energy/energy-storage-technologies>
34. Types of Energy Storage - NYSERDA, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.nyserda.ny.gov/All-Programs/Energy-Storage-Program/Energy-Storage-for-Your-Business/Types-of-Energy-Storage>
35. 6 Key Storage Technologies for Renewable Energy - RGBSI Blog, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://blog.rgbsi.com/6-storage-technologies-renewable-energy>
36. The role of energy storage tech in the energy transition - The World Economic Forum, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.weforum.org/stories/2024/11/the-role-of-energy-storage-technologies-in-the-energy-transition/>
37. Energy Storage Systems: Technologies and High-Power Applications - MDPI, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.mdpi.com/2313-0105/10/4/141>
38. Understanding Energy Management for Energy Storage Systems - BOS Power Insights, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://blog.bospower.com/understanding-energy-management-for-energy-storage-systems>
39. The Future of Energy Management: Navigating Battery Storage Systems - Flexgen, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.flexgen.com/resources/blog/future-energy-management-navigating-battery-storage-systems>
40. Understanding Battery Energy Storage Systems (BESS) - Flexgen, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.flexgen.com/blog/understanding-battery-energy-storage-systems-bess>
41. What is a BMS or Battery Management System? - GridPoint, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.gridpoint.com/blog/what-is-a-bms-or-battery-management-system/>
42. Energy Management Strategies - Monolithic Power Systems, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <http://www.monolithicpower.com/en/learning/mpscholar/battery-management-systems/advanced-topics-in-bms/energy-management-strategies>
43. What is a Battery Management System (BMS)? – How it Works | Synopsys, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.synopsys.com/glossary/what-is-a-battery-management-system.html>
44. Battery Energy Storage Systems | Cummins Inc., נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.cummins.com/generators/battery-energy-storage-systems>
45. Enabling renewable energy with battery energy storage systems | McKinsey, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/enabling-renewable-energy-with-battery-energy-storage-systems>
46. Energy Management System (EMS): The Intelligent Brain of Energy Storage Systems, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.tls-containers.com/tls-blog/energy-management-system-ems-the-intelligent-brain-of-energy-storage-systems>
47. Battery Communication - Unlock Seamless Connectivity for Your Battery Energy Storage, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.relienergy.de/products/battery-communication/>
48. Introduction to Energy Storage Battery Management System - LTW BMS, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.ltw-bms.com/news/news359.html>
49. How to choose the right BMS communication protocol for a BMS board? - MokoEnergy - Your New Energy Solution Provider, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.mokoenergy.com/questions/bms-communication-protocol-for-a-bms-board/>
50. Communication Protocols in BMS - Monolithic Power Systems, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.monolithicpower.com/en/learning/mpscholar/battery-management-systems/bms-communication-interface/communication-protocols-in-bms>
51. EEBus: Universal communication protocol of the energy world – gridX, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.gridx.ai/knowledge/eebus-universal-communication-protocol-of-the-energy-world>
52. Communication Interfaces for Mobile Battery Energy Storage Applications - kth .diva, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1793391/FULLTEXT01.pdf>
53. Types of EV Chargers [Standard Classification] - Bacancy Systems, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://bacancysystems.com/blog/types-of-ev-chargers>
54. Types of Electric Vehicle Chargers - Duke Energy, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.duke-energy.com/energy-education/electric-vehicles/charging-your-ev/types-of-chargers>
55. Charger Types and Speeds | US Department of Transportation, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.transportation.gov/rural/ev/toolkit/ev-basics/charging-speeds>
56. What are the Different EV Charging Levels? - Car and Driver, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.caranddriver.com/features/a41803552/ev-charging-levels/>
57. Confused About Car Charging Systems? - EV Connect, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.evconnect.com/blog/top-california-electric-vehicle-charging-station-rebates-incentives-ydpde-93638>
58. EV Charging Connector Types: A Complete Guide - EVESCO - Power Sonic, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.power-sonic.com/blog/ev-charging-connector-types/>
59. Electric Vehicle Charging Guide | ChargeHub, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://chargehub.com/en/electric-car-charging-guide.html>
60. The Role of Modbus in EV Charger Infrastructure - Ampcontrol, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.ampcontrol.io/post/the-role-of-modbus-in-ev-charger-infrastructure>
61. EV Charging Protocols And Standards: A Comprehensive Guide - Tridens Technology, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://tridenstechnology.com/ev-charging-protocols-standards/>
62. EV charging management software: What it is, how it works, and why it's important for owners and operators - SWTCH Energy, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://swtchenergy.com/blog/technology-spotlight/ev-charging-management-software-what-it-is-how-it-works-and-why-its-important-for-owners-and-operators/>
63. EV Protocols & Standards - Full Stack Energy, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://fullstackenergy.com/open-protocols-for-ev-charging/>
64. Open charge point protocol - Open Charge Alliance, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://openchargealliance.org/protocols/open-charge-point-protocol/>
65. What is OCPP? Is it important for EV charging? - Virta, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.virta.global/blog/ocpp-why-is-it-important-ev-charging>
66. The OCPP Handbook (2025) - AMPECO, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.ampeco.com/guides/complete-ocpp-guide/>
67. Open Charge Point Protocol - Wikipedia, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/Open_Charge_Point_Protocol>
68. Importance of Open Charge Point Protocol for the Electric Vehicle Industry, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://openchargealliance.org/wp-content/uploads/2023/11/OCA-EN_whitepaper_OCPP_vs_proprietary_protocols_v1.0.pdf>
69. Open Charge Point Protocol (OCPP) Explained: What it is, how it works, and why it matters for EV charging - SWTCH Energy, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://swtchenergy.com/blog/ev-insights/open-charge-point-protocol-ocpp-explained-what-it-is-how-it-works-and-why-it-matters-for-ev-charging/>
70. What Is Open Charge Point Protocol (OCPP)? - EvoCharge, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://evocharge.com/resources/what-is-open-charge-point-protocol/>
71. What is OCPP? - ChargeLab, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://chargelab.co/industry-advocacy/ocpp>
72. The Purpose of OCPP in Charging Infrastructure - 1NCE, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.1nce.com/en-us/resources/iot-knowledge-base/iot-connectivity/iot-and-communication-protocols/what-is-ocpp>
73. What the heck is OCPP and how to implement it? : r/electricvehicles - Reddit, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.reddit.com/r/electricvehicles/comments/8r4kqq/what_the_heck_is_ocpp_and_how_to_implement_it/>
74. EV Charging Industry Standards and Protocols - Driivz, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://driivz.com/blog/ev-charging-standards-and-protocols/>
75. Smart Energy Management System for EV Charging - Driivz, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://driivz.com/glossary/smart-energy-management/>
76. consteel-electronics.com, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://consteel-electronics.com/articles/enriching-building-management-systems-bms-with-modbus-solutions-modbus-protocol-in-bms-systems#:~:text=Energy%20Management,performance%20of%20renewable%20energy%20systems.>
77. Comprehensive Guide on ModBus TCP Protocol\_Industry dynamics\_Blog\_ - Ebyte, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.cdebyte.com/news/696>
78. Modbus protocol in the building management system BMS - CONSTEEL Electronics, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://consteel-electronics.com/articles/enriching-building-management-systems-bms-with-modbus-solutions-modbus-protocol-in-bms-systems>
79. What is Modbus? | Omnitron Systems Guide to Modbus Protocol - Blog, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.omnitron-systems.com/blog/what-is-modbus-a-complete-guide-to-modbus-protocol-and-its-applications>
80. Do you know the Energy Meter Modbus protocol?- Zhejiang Yongtailong Electronic Co., Ltd, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.ytl-e.com/news/Knowledge/do-you-know-the-energy-meter-modbus-protocol.html>
81. Understanding the Modbus Protocol - enjoyelec, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.enjoyelec.net/understanding-the-modbus-protocol/>
82. Get on the Bus: Modbus and Its Expanding Role in Energy Management - Tehama Wireless, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.tehamawireless.com/blog/get-on-the-bus-modbus-and-its-expanding-role-in-energy-management>
83. Modbus protocol is widely used in application scenarios and industries. - PUSR, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.pusr.com/blog/Modbus-protocol-is-widely-used-in-application-scenarios-and-industries>
84. Modbus | Communication Protocols | Sensor Monitoring - Digital Matter, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://sense.digitalmatter.com/blog/modbus-sensor-monitoring-hawk>
85. Reading data from energy meter using modbus protocol - Schneider Electric Community, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://community.se.com/t5/Industry-Automation-and-Control/Reading-data-from-energy-meter-using-modbus-protocol/td-p/184198>
86. IEC 61850: Driving Efficiency and Reliability in Electrical Substations - EpiSensor.com, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://episensor.com/iec-61850-driving-efficiency-in-electrical-substations/>
87. IEC 61850 Benefits Power & Energy Applications - Rockwell Automation, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.rockwellautomation.com/en-gb/company/news/blogs/iec-61850-brings-benefits.html>
88. IEC 61850 - Wikipedia, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/IEC_61850>
89. IEC 61850: Next Generation Communication Standard for Power Systems - Online Standart, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://onlinestandart.com/en/iec-61850-standard-for-communication-and-automation-for-power-systems/>
90. IEC 61850 – Home, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://iec61850.dvl.iec.ch/>
91. The impact of IEC 61850 on the future of the energy sector - COPA-DATA Blog, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://blog.copadata.com/the-impact-of-iec-61850-on-the-future-of-the-energy-sector>
92. Basic understanding of IEC 61850 - What are the key aspects? - SGRwin, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.sgrwin.com/basic-understanding-iec-61850/>
93. IEC61850 companion specification for electrical substation automation systems, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://opcfoundation.org/markets-collaboration/iec61850/>
94. IEC 61850-7-420:2021, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://webstore.iec.ch/en/publication/34384>
95. IEC 61850 Profile for Distributed Energy Resources Supporting IEEE 1547 - NIST Technical Series Publications, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/TechnicalNotes/NIST.TN.2217.pdf>
96. How Battery Energy Storage Systems Are Changing Our Buildings and Vehicles, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.engineering.com/how-battery-energy-storage-systems-are-changing-our-buildings-and-vehicles/>
97. Communication Solutions for Industrial Generator Sets - Genesal Energy, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://genesalenergy.com/en/communication/articles/communication-solutions-industrial-generator-sets/>
98. Energy Management Systems: How immediate benefits drive strategic gains, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://blog.se.com/energy-management-energy-efficiency/2024/01/05/energy-management-systems-drive-strategic-gains/>
99. MODBUS AND BACNET COMMUNICATION INSTRUCTIONS - Lochinvar, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.lochinvar.com/lit/POWER-FIN%20MODBUS_100275719_2000534455_REV%20F%20(52880).pdf>
100. Smart Integrated Building Management Systems (Smart IBMS) - Nalanda University, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://nalandauniv.edu.in/wp-content/uploads/2021/12/IO-Summary-for-IBMS-Service.pdf.pdf>
101. The Ultimate Guide to Building Automation Protocols - Smart Buildings Academy, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://guides.smartbuildingsacademy.com/the-ultimate-guide-to-building-automation-protocols>
102. An Ultimate Guide to BMS Integration Protocols - Lumos Controls, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://lumoscontrols.com/resources/an-ultimate-guide-to-bms-integration-protocols/>
103. Communications Protocols for Grid-EV Integration - QualityLogic, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.qualitylogic.com/knowledge-center/communications-protocols-for-grid-ev-integration/>
104. Communication Protocols and Standards for Residential Demand Response, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.dret-ca.com/wp-content/uploads/2022/09/DR18.12-Final-Report-Residential-Demand-Response-20211214-.pdf>
105. Modbus to IEC 61850 protocol converter - JPEMBEDDED, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.jpembedded.eu/en/modbus-to-iec-61850-protocol-converter/>
106. Set Up IEC 61850 MMS Client to Modbus TCP Conversion in 4 Steps – MGate 5192 Series | Moxa - YouTube, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=BYgqfIltI4s>
107. Effective artificial neural network-based wind power generation and load demand forecasting for optimum energy management - Frontiers, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/energy-research/articles/10.3389/fenrg.2022.898413/full>
108. Optimal Energy Management - eCAL, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://ecal.studentorg.berkeley.edu/files/ce295/CH05-OptimalControl.pdf>
109. Energy Management Systems for Microgrids: Main Existing Trends in Centralized Control Architectures - MDPI, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/3/547>
110. Optimal Power Flow Management System for a Power Network with Stochastic Renewable Energy Resources Using Golden Ratio Optimization Method - MDPI, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/14/3671>
111. Energy Management System with Power Offering Strategy for a Microgrid Integrated VPP, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.techscience.com/cmc/v75n1/51425/html>
112. Commercial Smart Solar Inverters: Maximizing Solar Power Potential - GreenLancer, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.greenlancer.com/post/smart-solar-inverters>
113. The Role of Control Systems in Smart Grid Technology: Enhancing Renewable Energy, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://online-engineering.case.edu/blog/role-of-control-systems-in-smart-grid-technology>
114. (PDF) An overview of control techniques for wind turbine systems - ResearchGate, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.researchgate.net/publication/347156773_An_overview_of_control_techniques_for_wind_turbine_systems>
115. Integrating energy systems for zero-carbon residential buildings: a ..., נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://academic.oup.com/ooenergy/article/7848656>
116. A Home Energy Management System With Renewable Energy and Energy Storage Utilizing Main Grid and Electricity Selling - ResearchGate, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.researchgate.net/publication/339821577_A_Home_Energy_Management_System_With_Renewable_Energy_and_Energy_Storage_Utilizing_Main_Grid_and_Electricity_Selling>
117. Residential Prosumer Energy Management System with Renewable Integration Considering Multi-Energy Storage and Demand Response - MDPI, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/5/2156>
118. Integrated Home Energy Management with Hybrid Backup Storage and Vehicle-to-Home Systems for Enhanced Resilience, Efficiency, and Energy Independence in Green Buildings - MDPI, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/17/7747>
119. Integrated Management of Energy Resources in Residential Buildings—A Markovian Approach | Request PDF - ResearchGate, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.researchgate.net/publication/299566586_Integrated_Management_of_Energy_Resources_in_Residential_Buildings-A_Markovian_Approach>
120. A Case Study on Implementing Smart Meter Integration with Home Energy Management Systems - Utilities Now, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://utilitiesnow.com/blog/a-case-study-on-implementing-smart-meter-integration-with-home-energy-management-systems/>
121. Case Study: Artificial Intelligence for Building Energy Management ..., נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.iea.org/articles/case-study-artificial-intelligence-for-building-energy-management-systems>
122. Integrating Energy Efficiency and Demand Response: Employing Advanced Technologies to Unlock Operational Efficiency in Commercial Buildings, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.aceee.org/files/proceedings/2010/data/papers/2053.pdf>
123. “Energy Management Case Studies using Energy Information Systems” - OSTI, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.osti.gov/servlets/purl/838605>
124. Building energy information systems: user case studies, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://buildings.lbl.gov/sites/default/files/beis-case-studies.pdf>
125. Integrated energy management system based on data analytics ..., נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.samsungsds.com/eu/case-study/ehs-casestudy-1.html>
126. ISO 50001 Energy Management System Case Study, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.cleanenergyministerial.org/content/uploads/2022/03/cem-em-casestudy-haier-china.pdf>
127. gap analysis of industrial energy management systems – case study slovenia, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.researchgate.net/publication/269389635_GAP_ANALYSIS_OF_INDUSTRIAL_ENERGY_MANAGEMENT_SYSTEMS_-_CASE_STUDY_SLOVENIA>
128. Energy Management Case Studies | Better Buildings Initiative, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <http://betterbuildingssolutioncenter.energy.gov/iso-50001/resources/case-studies>
129. Integrating Industry 4.0 and 5.0 Innovations for Enhanced Energy Management Systems, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/5/1222>
130. Energy Savings and Efficiency in Israel's Public Sector: How to Succee - Global Impact, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.globalimpact.co.il/blogs/news/%D7%93%D7%A8%D7%99%D7%A9%D7%95%D7%AA-%D7%97%D7%99%D7%A1%D7%9B%D7%95%D7%9F-%D7%95%D7%99%D7%A2%D7%99%D7%9C%D7%95%D7%AA-%D7%91%D7%90%D7%A0%D7%A8%D7%92%D7%99%D7%94-%D7%91%D7%9E%D7%92%D7%96%D7%A8-%D7%94%D7%A6%D7%99%D7%91%D7%95%D7%A8%D7%99-%D7%90%D7%99%D7%9A-%D7%9C%D7%94%D7%AA%D7%A0%D7%94%D7%9C-%D7%A0%D7%9B%D7%95%D7%9F>
131. Israel - Energy - International Trade Administration, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/israel-energy>
132. Energy Resource Guide - Israel - Renewable Energy - International Trade Administration, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.trade.gov/energy-resource-guide-israel-renewable-energy>
133. Renewable Energy Laws and Regulations Israel 2025 - ICLG.com, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://iclg.com/practice-areas/renewable-energy-laws-and-regulations/israel>
134. Policy on the integration of renewable energy sources into the Israeli electricity sector - IEA, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.iea.org/policies/6380-policy-on-the-integration-of-renewable-energy-sources-into-the-israeli-electricity-sector>
135. A National Plan for Renewable Energy, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://heschel.org.il/en/wp-content/uploads/2023/04/NZO-Part-1.pdf>
136. Electricity and Renewable Energy - Gov.il, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.gov.il/en/departments/topics/electricity_and_renewable_energy/govil-landing-page>
137. SUSTAINABLE TRANSFORMATION OF ISRAEL'S ENERGY SYSTEM - Arava Institute for Environmental Studies, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://arava.org/wp-content/uploads/2022/04/2021-11_Arava-Institute_Sustainable-transformation-of-Israels-Energy-System_en-digital.pdf>
138. Israel approves law requiring the installation of solar on new buildings | Enerdata, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.enerdata.net/publications/daily-energy-news/israel-approves-law-requiring-installation-solar-new-buildings.html>
139. Israel mandates rooftop solar on new big buildings, targets 3.5 GW by 2040 - PV Magazine, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.pv-magazine.com/2024/08/08/israel-mandates-rooftop-solar-on-new-big-buildings-targets-3-5-gw-by-2040/>
140. National Energy Efficiency Program 2020-2030 - Gov.il, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.gov.il/BlobFolder/news/energy_2030/en/National_Energy_Efficiacy_Program.pdf>
141. National Energy Efficiency Action Plan - Gov.il, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.gov.il/BlobFolder/reports/national_plan_energy_efficiency/en/Israel's%20NEEP%20270318.pdf>
142. ISO 50001: Energy management - Standards Institution of Israel - מכון התקנים הישראלי, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.sii.org.il/en/iso-50001>
143. Israel Net-Metering regulation Framework – Policies - IEA, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.iea.org/policies/6381-israel-net-metering-regulation-framework>
144. Israeli regulator approves regulatory framework for storage - PV Magazine, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.pv-magazine.com/2023/10/20/israeli-regulator-approves-regulatory-framework-for-storage/>
145. Enlight secures major battery storage projects in Israeli grid tender - ESS News, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.ess-news.com/2025/02/18/enlight-secures-major-battery-storage-projects-in-israeli-grid-tender/>
146. Storage for Grid Deferral: The Case of Israel, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://oms-www.files.svdcdn.com/production/downloads/Storage-for-Grid-Deferral.pdf>
147. Israeli government leads 800MW/3200MWh BESS buildout, with energy storage strategy on the way, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.energy-storage.news/israeli-government-leads-800mw-3200mwh-bess-buildout-with-energy-storage-strategy-on-the-way/>
148. Israel's National Council approves an 800 MW energy storage project | Enerdata, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.enerdata.net/publications/daily-energy-news/israels-national-council-approves-800-mw-energy-storage-project.html>
149. Israel Emerges as Pivotal Player in Energy Storage System Sector, Fueling Future Market Growth - Energytrend, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.energytrend.com/research/20240311-45415.html>
150. Regulation | I-Storage Energy Sol, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.istorage.energy/regulation>
151. Security Standards and Regulations for EV Charging Networks - Driivz, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://driivz.com/blog/security-standards-and-regulations-for-ev-charging-networks/>
152. Connecting up to the revolution: how can you verify that your electric vehicle is suited to your domestic electricity network?, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.iec.co.il/en/content/content-pages/electricvehicle?previewGuid=e501c045-b0d8-4b75-8148-594e713cb0ad>
153. דרישות לרישום כלי רכב מקטגוריה Electric and plug in M1 N1 לשנה הקלנדארית 2019 - Gov.il, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.gov.il/BlobFolder/policy/imr_rr_m_n_o_2020/he/AgafHaRechev_IMR_2020_EU_RR_004536.doc>
154. The Transition to Electric Vehicles in Israel - Heinrich-Böll-Stiftung | Tel Aviv, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://il.boell.org/en/2022/03/04/electric-vehicles-evs-and-charging-infrastructure-israel>
155. Electric vehicle in Israel Ministry of Energy and Infrastructure - Gov.il, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.gov.il/en/pages/electric_vehicle_israel>
156. The demands on Israel's EV charging infrastructure - Innovation News Network, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.innovationnewsnetwork.com/demands-israels-ev-charging-infrastructure/16276/>
157. Electric Vehicles Charging Infrastructure in Israel: Implementation Policy and Technical Guidelines - Samuel Neaman Institute, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.neaman.org.il/en/electric-vehicles-charging-infrastructure-in-israel-implementation-policy-and-technical-guidelines/>
158. Strategy EV Charging Infrastructure Deployment in Israel - EVConsult, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.evconsult.nl/en/nieuws/strategy-ev-charging-infrastructure-deployment-in-israel/>
159. Electric Vehicles Charging Infrastructure in Israel, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.neaman.org.il/wp-content/uploads/2024/02/Electric-Vehicles-Charging-Infrastructure-in-Israel-SNI_20180614170611.810.pdf>
160. Law to install electric vehicle charging stations without consent of neighbors approved on first reading - Buyitinisrael, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.buyitinisrael.com/news/the-law-to-install-electric-vehicle-charging-stations-was-approved-on-its-first-reading-even-without-the-consent-of-the-neighbors/>
161. Electric Mobility | null - Gov.il, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.gov.il/en/departments/general/israel_electric_mobility>
162. Electric Car Home Charger By ADVICE, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://advice.co.il/en/pages/ev-charger-by-advice>
163. Afcon Leads the Israeli Market in Private, Public, Business, and Municipal EV Charging Networks - Driivz, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://driivz.com/case-studies/afcon-electric-mobility/>
164. About a third of cars on Israeli roads will be electric by 2030, government projects, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://www.timesofisrael.com/about-a-third-of-cars-on-israeli-roads-will-be-electric-by-2030-government-projects/>
165. Roadmap of Standards and Codes for Electric Vehicles at Scale, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://share.ansi.org/evsp/ANSI_EVSP_Roadmap_June_2023.pdf>
166. 765 ILCS 1085/ Electric Vehicle Charging Act. - Illinois General Assembly, נרשמה גישה בתאריך אפריל 14, 2025, <https://ilga.gov/legislation/ILCS/ilcs3.asp?ActID=4407&ChapterID=62>