



תשתיות אנרגיה לבינה מלאכותית – פערים, אתגרים והזדמנויות לקובעי מדיניות

אברי שכטר, ברק רשף, אסף צחור



מכון ינאי לביטחון אנרגטי

מכון ינאי תומך בביטחון וחוסן אנרגטי, בישראל ובעולם. המכון יוזם ומוביל מחקרים בסוגיות המפתח של משקי אנרגיה וביטחון אנרגטי. עבודת המכון משלבת כלכלה יישומית, ניתוח רגולטורי ומוסדי, הערכות סיכונים ותרשימים, ונשענת על נתונים וכלים אנליטיים. המכון מתרגם ממצאים להמלצות ישימות לעיצוב מדיניות ארוכת טווח לקידום משק אנרגיה יעיל ובר קיימא.

העמדות המובאות בניירות המדיניות הינן באחריות הכותבים בלבד, ואינן משקפות בהכרח את עמדות הוועד המנהל והוועדה המדעית של המכון או של אוניברסיטת רייכמן.

פרטי התקשורת:

מכון ינאי לביטחון אנרגטי

רחוב האוניברסיטה 8, הרצליה

דוא"ל: yannay.institute@runi.ac.il

אתר: <https://www.runi.ac.il/research-institutes/sustainability> /מכון-ינאי-לביטחון-אנרגטי

צוות החוקרים:

אברי שכטר, מנהל המכון;

ברק רשף, חבר הוועדה המדעית של המכון;

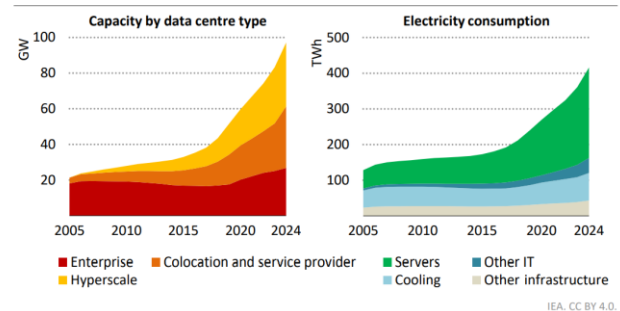
אסף צחור, מנהל אקדמי של המכון.

מבוא

מהפכת הבינה המלאכותית כרוכה בשימוש חסר תקדים בהיקפו בחשמל.

בין השנים 2005-2015, צריכת החשמל העולמית בחוות שרתים – בהן מתבצע אימון ושימוש במודלים, לרבות מודלי שפה גדולים (דוגמת ChatGPT, Claude, Gemini) – גדלה בקצב מתון של כ-3% בשנה. אולם מאז 2015 קצב הגידול זינק לכ-12% בשנה, פי ארבעה מהצמיחה בצריכת החשמל הכוללת [1].

Figure 2.3 Total data centre electricity consumption by equipment type and data centre type, 2005-2024



After a decade of limited growth, data centre electricity consumption began to accelerate again after 2015

Note: GW = gigawatt; TWh = terawatt hour.

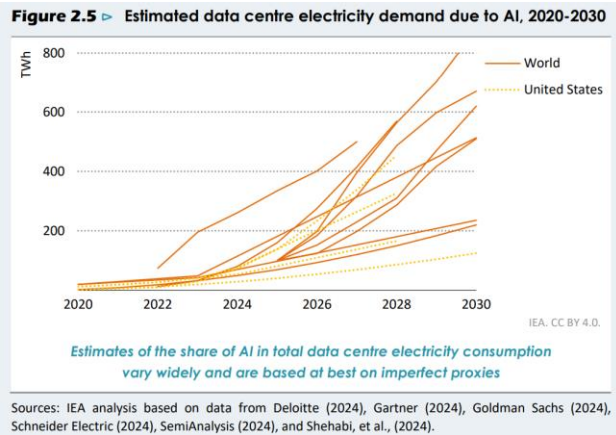
Sources: IEA analysis based on data from IDC (2024a), OMDIA (2025), and SemiAnalysis (2025).

תרשים 1: מגמות צריכת חשמל עולמית של חוות שרתים

בשנת 2024 עמד הביקוש לחשמל של חוות שרתים על כ-415 TWh שהם כ-1.5% מצריכת החשמל העולמית. עד 2030, צריכה זו צפויה להכפיל את עצמה לכ-945 TWh, עם קצב גידול שנתי של כ-15%. בתוך כך, חוות שרתים הקשורות לבינה מלאכותית צפויות להפוך לרכיב הצריכה הדומיננטי בענף [1]. לפי חברת הייעוץ McKinsey & Co, קצב הגידול הצפוי יהיה אף גבוה יותר, בין 19-27% בשנה.

אי הוודאות בנוגע לצריכה עתידית נובעת במידה רבה מהעומס החישובי ומהשונות באופני השימוש במודלי בינה מלאכותית. בעוד ששימוש במודלים צורכת כמות מצומצמת יחסית של חשמל, אימון מודלים חדשים עשוי לדרוש אנרגיה בהיקפים אדירים. לשם דוגמה, הפער בצריכת החשמל בין אימון מודל¹ 3-GPT ואימון מודל 4-GPT של OpenAI עמד על למעלה מ-480%, מ-1,200 ל-7,000 MWh בקירוב [2]. אי ודאות בנוגע לקצב והיקף השינויים הטכנולוגיים; קצב פיתוח מודלים

עתידיים ודרישות האנרגיה של כל מודל, מובילה לטווח רחב של תחזיות.



תרשים 2: הערכת שיעור צריכת החשמל של חוות שרתים כתוצאה משימושי בינה מלאכותית [1]

חשוב מכך, האתגר הניצב לפתחו של משק האנרגיה אינו רק ברמת הביקושים אלא באופי הביקושים: מדובר בביקושים רציפים (לאורך כל שעות היממה) ומרוכזים גיאוגרפית – כלומר, צרכנים גדולים הפועלים מאתר יחיד או אשכול מצומצם של אתרים, בדומה למתקני התפלה או תעשיות כבדות.

צריכת החשמל של חוות שרתים מורכבת ממספר רכיבים עיקריים: שרתים וציוד המחשוב עצמו (כ-55% מההספק הנצרך), מערכות הקירור (עד כ-30%) [1], ציוד תקשורת ותעבורת נתונים, ומערכות שונות להבטחת רציפות תפקודית, לרבות גיבוי מידע ואמינות אספקת חשמל (עד כ-15%). גם כאשר עומסי העבודה משתנים, הצריכה הכוללת כמעט שאינה פוחתת, משום שמערכות הקירור פועלות ברציפות לשמירה על טמפרטורה יציבה, והשרתים מתוחזקים לשמירה על רמת זמינות מלאה כדי לאפשר תגובה מיידית לכל דרישת עיבוד. כתוצאה מכך, עקומת הביקוש היומי של חוות שרתים שטוחה ויציבה – כמעט ללא פער בין שעות שפל לשעות שיא.

במילים אחרות, מדובר בצרכנים בעלי גמישות ניהולית מוגבלת מאוד. צריכתם כמעט קבועה ואינה ניתנת לדחיה או להפחתה, על כן מקשה על ניהול האיוון במערכת החשמל.

באזורים עירוניים רבים, חוות שרתים כבר מהוות עשרות אחוזים מהביקוש המקומי לחשמל (לדוגמה, בין 33-42%

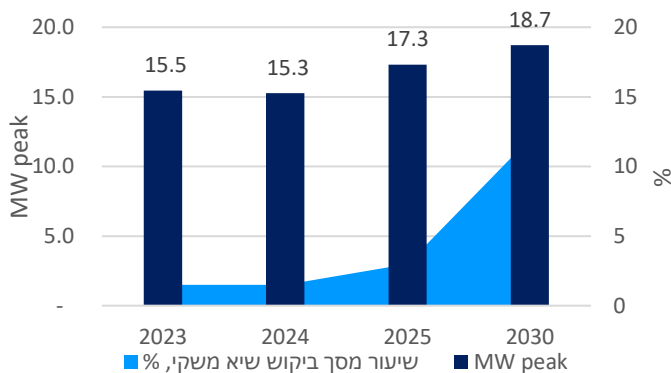
¹ אימון מודל הוא תהליך מרכזי בלמידת מכונה (Machine Learning), שבו אלגוריתם למידה מקבל נתוני אימון ומשתמש בהם כדי לפתח מודל המסוגל לבצע תחזיות או קבלת החלטות על סמך נתונים חדשים.

הצפי הנמוך למימוש הזמנות מוסבר בפתיחת מספר הזמנות על ידי יזמי נדל"ן המתחרים ביניהם על לקוחות.

חוות השרתים שנבנות צפויות לפעול במקדם הספק שבין 0.92 ל-0.96. אם לשם דוגמה נסתמך על מקדם ההספק התקני המקובל (0.92, [7]), מדובר בכ-6% משיא הביקוש השנתי הצפוי בשנת 2030, לעומת כ-1.5% משיא הביקוש השנתי ב-2023.

לעומת הערכת חח"י, בדו"ח מצב משק החשמל שפורסם לאחרונה על ידי רשות החשמל המספרים שונים. לפי התחזית, עד 2030 צפוי לקום הספק של כ-2,500 MVA², וכן הזמנות לחיבור גיבוי בסך הספק של כ-800 MVA. בהסתמך על מקדם ההספק התקני המקובל (0.92, [7]), מדובר בכ-12% משיא הביקוש השנתי הצפוי בשנת 2030, פי 2 מזה שהוערך בתוכנית הפיתוח של חח"י.

אנו סבורים כי אף שלעיתים צרכנים מזמינים קיבולת חיבור גבוהה מהנדרש כתכנון לטווח ארוך, כך שלא בהכרח תתממש כל הקיבולת שהוזמנה עד 2030, שיעור מימוש הזמנות החיבור עשוי להיות גבוה מזה שהונח בתוכנית הפיתוח של חח"י. לכן, מומלץ לבחון את עדכונה בהתאם ובהקדם.



תרשים 3: ביקוש לחשמל בחוות שרתים כשיעור מסך ביקוש השיא השנתי במשק

טווח התחזית, בין 6% ל-12% משיא הביקוש השנתי הצפוי ב-2030, משקף את חוסר הוודאות הקיים בהתפתחות השוק ובהערכת צריכת החשמל הצפויה מחוות השרתים שיקומו.

בכל מקרה, ובהתייחס ליעד שקבעה ועדת נגל להתקנת 60,000 יחידות GPUs תוך שנתיים, מדובר בקנה מידה דרמטי, השווה ערך לצריכת חשמל שנתית ממוצעת של כ-28 אלף

באמסטרדם, לונדון ופרנקפורט; כ-80% בדבלין [3]), עומסים שכמעט ולא נראים במגזרי תעשייה אחרים, להוציא תעשייה כבדה (מפעלי פלדה, ברזל או אלומיניום). **משמעות הדבר היא תחרות מתעצמת והולכת על אספקת אנרגיה וכפועל יוצא מכך, שקלול תמורות (trade-off) או פשרות חריפות יותר בין מגזרים, בנוסף לעומסים חדשים על רשתות הולכה וחלוקה, עיכובים צפויים בחיבור לרשת החשמל, וצורך בתכנון תחנות משנה ייעודיות – הכל עם השלכות ישירות על אמינות האספקה וביטחון האנרגיה [1].**

עבור ישראל, המגמות הללו והאילוצים שבצידן משמעותיות במיוחד. לפי מדד AI Tortoise Index לשנת 2024, ישראל מדורגת במקום התשיעי בלבד באימוץ טכנולוגיות בינה מלאכותית, ולמרבית הסיכון מדורגת נמוך בהרבה בתחום התשתיות הנדרשות (מקום 26), ובתחום האסטרטגיה הממשלתית לקידום התחום (מקום 32) [4]. הדירוג מצביע על פער מבני שסופו פגיעה כפולה: גם בביטחון האנרגיה הלאומי וגם בקדמה טכנולוגית.

לפי דו"ח ועדת נגל, הוועדה הלאומית להאצת תחום הבינה המלאכותית (2025), הפערים העיקריים בתחום תשתיות אנרגיה לבינה מלאכותית כוללים (א) העדר הקצאה ייעודית לחשמל לחוות שרתים, (ב) זמני חיבור של שנים לרשת ההולכה, (ג) מחסור באמצעי אגירת אנרגיה, (ד) ותמריצים חסרים לתאגידים בינלאומיים שעלולים לשכנע אותם להקים מרכזי מו"פ מחוץ לישראל [5].

התחזית הנוכחית ממחישה את האתגר

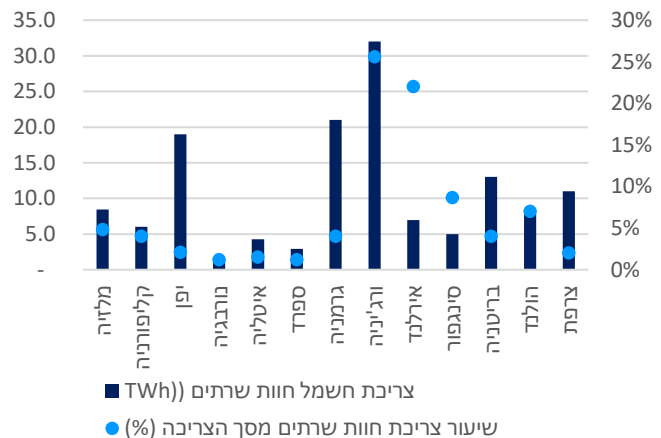
עד היום, גובשו שתי תחזיות לחיבור חוות שרתים על ידי גורמים האמונים על פיתוח רשת החשמל בישראל – חברת החשמל (חח"י) ונגה (נגה ניהול מערכת חשמל) בשיתוף רשות החשמל. הערכת חברת החשמל בתוכנית פיתוח רשת החלוקה [6], כוללת הנחות אודות סבירות שיעור המימוש של ההזמנות הקיימות לחיבור קבוע עד 2030: הספק של כ-1,275 MVA, וכן הזמנות לחיבור גיבוי בסך הספק של כ-630 MVA, ובפריסה ארצית לפי מרחבים. חברת החשמל מעריכה כי צפויות להתקבל בקשות חיבור נוספות בין 2026-2030 כתוצאה מהגידול בביקוש להקמת חוות שרתים ולכן צופה שעד שנת 2030 ידרשו לחבר כ-2,018 MVA בחיבור ישיר וכ-1,200 MVA בחיבורי גיבוי.

תחזית חח"י מעריכה כי מימוש ההזמנות בפועל יעמוד רק על 65-70% מסך ההזמנות, קרי הספק כולל של כ-1,312 MVA.

² לא צוינו הנחות מימוש

משקי בית³, וזאת תוך התעלמות מבקשות החיבור שכבר הוזמנו וצפויות לקום עד 2030.

גם אם נסמכים על ההנחה השמרנית של שיעורי מימוש הזמנות חיבור (65-70%), מדובר בגידול משמעותי בהשוואה בינלאומית, גידול שיחייב את הרשויות לבצע התאמות נרחבות במדיניות האנרגיה, פיתוח מקורות, הקצאת חשמל, ותכנון הרשת⁴.



תרשים 4: צריכת חשמל של חוות שרתים ושיעורן מסך הצריכה במדינות נבחרות

בהקשר זה, יש טעם להשוות את מצב הדברים לזה בהולנד ואירלנד, שם חוות שרתים אחראיות לכ-7% ו-18% מצריכת החשמל הלאומית שלהן, בהתאמה. השינויים בתמהיל הצריכה והעומס התשתיתי הובילו את המדינות לנקיטת צעדים דרסטיים, בין היתר הגבלת הקמת חוות שרתים חדשות, ובמקרים מסוימים איסור על חיבור לרשת.

השלכות על איכות ואמינות האספקה

האופי הבלתי צפוי של עומסי בינה מלאכותית מציב אתגרים משמעותיים לתחזית הביקוש ואיזון הרשת בזמן אמת. שילוב אלו עם פער בהיערכות תשתיות החשמל וריכוז ההקמה באזורי אוכלוסייה גדולים המתאפיינים במיעוט אמצעי ייצור, צפויים להביא להשלכות על איכות ואמינות אספקת החשמל. בהיעדר תכנון מוקדם וניהול זהיר של העומסים על רשת החשמל, הם עלולים לפגוע באיכות ואמינות האספקה לאורך זמן.

עד כה, חוות השרתים בישראל התאפיינו בגודל חיבור אופייני של בין 8-16 MVA (מתח גבוה), ובהתאם לכך נבנתה גם תכנית הפיתוח של רשת החלוקה.

בשנים האחרונות ניכרת מגמת פניות מטעם מקימי ומפעילי חוות שרתים לחיבור גם לרשת המתח העליון בגדלי חיבור של 100-200 MVA. ככלל, מפעילי חוות השרתים מעדיפים לחבר חוות שרתים למתח גבוה, גם אם מדובר ביותר מחיבור אחד, בעיקר בחוות בינוניות בגודלן. עם זאת, הדבר תלוי בגודל החווה ומגבלות הרגולציה: חוות גדולות במיוחד (מאות מגה-וואטים) נדרשות על פי רוב לחיבור במתח עליון, ובמקרים אלו לא מתאפשרים מספר חיבורים לאותה חטיבת קרקע בהתאם לרגולציה. כאשר מתאפשר חיבור למתח גבוה, העדפה זו נובעת מכמה סיבות. ראשית, בקשות לחיבור חוות שרתים לרשת החשמל מתבצעות בסד זמנים קצר, ובאזורים בהם קיים קושי לשדרג את תשתית החשמל הקיימת (כגון הוספת שנאי או בניית תחנות משנה). שדרוגים אלו דורשים תהליך ממושך הכולל מספר שלבים סטטוטוריים וביצועיים. לכן, קיימת עדיפות לפיצול החיבור למספר חיבורים במתח גבוה. עובדה זו מיטיבה עם היזם שכן היא מאפשרת גמישות תפעולית, בין היתר על ידי קבלת הזנה משנאים שונים. בשולי הדברים, יש לציין שעבור חוות גדולות בהיקפן חיבור במתח עליון נחשב אמין יותר.

ריבוי חיבורים במתח גבוה לתחנות משנה מערכתיות יוצר אתגר תכנוני חדש: הוא משנה את האיזון המקורי עליו התבסס תכנון המערכת בנוגע לתחזית הביקוש, דבר שעלול להשפיע על מספר תחנות המשנה הנדרשות, גודלן, פיתוח רשת ההולכה והחלוקה, ובמקרים מסוימים עיכובים בחיבור צרכנים אחרים [8].

במסגרת תוכנית הפיתוח לרשת החלוקה, חברת החשמל סקרה ולמדה 100 הזמנות לתכנון חיבור של חוות שרתים. הניתוח הצביע על שלושה מרכיבי רשת מרכזיים: (i) הנחת כבלים תת-קרקעיים במתח גבוה; (ii) ארון מניה/ מיכל מדידת צריכת החשמל; (ii) מנתק SF-6. במסגרת התוכנית, הוערכו סך ההשקעות הנדרשות ברכיבים אלו על בסיס הנחת מימוש בפועל של 65% מההזמנות הצפויות עד שנת 2030, (לטענתנו, הנחת חסר).

ברקע התחזיות לגידול בביקוש לחשמל מצד חוות שרתים, מצב מימוש תוכניות הפיתוח של הרשת מעלה חשש לפער פוטנציאלי בין קצב ההתקדמות בפיתוח התשתיות לבין הצרכים הצפויים בשנים הקרובות. לפי נתוני רשות החשמל לשנת 2025, בהתאם ללוחות הזמנים הרב-שנתיים, חלק הארי של הפרויקטים המתוכננים עד 2030 טרם בוצעו. בדיקה

⁴ עיבוד נתוני ICIS [2], EMBER [21], European, Wood Mackenzie [22], APOLLO [24], Data Center Associations [23]

³ בהינתן שיחידת GPU צורכת כ-700 W [19] עם הנחה שמרנית לשיעור ניצול שנתי של 61%. ובהינתן כי צריכה ממוצעת של משק בית היא כ-8,000 KWh בשנה [20].

אלפי חיישנים ביתיים בארצות הברית הראה כי באזורים דוגמת צפון וירג'יניה, מיקום מרכזי של חוות שרתים בארה"ב, נרשמה תדירות גבוהה של הפרעות (distortions); גבוהה פי ארבעה מהממוצע הארצי, כאשר למעלה ממחצית המקרים נרשמו בבתי המרוחקים פחות מ-20 מיילים מחוות שרתים פעילה (כ-30 ק"מ). המחקר מצא כי עומסים דינמיים הנוצרים בחוות השרתים גורמים לפגיעה באיכות החשמל לרבות עיוותים במתח ובתדר הגורמים להתחממות יתר, קצרים פנימיים ולייצוב לקוי של פעולות מנועים. **ממצאים אלה מצביעים כי גם כאשר אספקת החשמל מספקת מבחינת הכמות, איכותה עלולה להיפגע משמעותית.** פגיעה באמינות האספקה, המתבטאת בעליית מדדי דקות אי-אספקה, תדירות ומשך שיקום האספקה, אינה רק אתגר תפעולי אלא שאלה של תחרותיות כלכלית העלולה להרחיק השקעות. **כל ההיבטים הללו אינם נדונים על ידי הרגולטור הישראלי. התעלמות זו עלולה להוביל להחמצת הזדמנויות כלכליות לאומיות.**

חוסר היערכות עלול להביא להחמצת הזדמנויות כלכליות

הפגיעה באמינות האספקה אינה רק טכנית, היא עלולה להוביל לאובדן השקעות והאטת צמיחה. היעדר יכולת להקים הספק ייצור חשמל במרכזי הביקוש, ובפרט בגוש דן, מגביר את התלות ברשת הולכה עמוסה בין כה וכה. למרבה הצער, חלופת ייצור אנרגיה ממקורות מתחדשים (למשל, סולאריים) בשילוב אמצעי אגירת אנרגיה אינה מתממשת עקב חסמים רגולטוריים ותכנוניים שונים. על רקע העלייה החדה בצריכת החשמל של חוות השרתים המתוכננות, מצב זה מחריף שבעתיים את הסיכון לאי-אספקה ופגיעה ברציפות ובביטחון האנרגטי של המשק כולו.

לשון אחר, מצב תשתיות האנרגיה עתיד להפוך לגורם מכריע בהחלטות השקעה בתשתיות בינה מלאכותית. חוסר מוכנות של רשת החשמל לקלוט צרכנים גדולים (חוות שרתים) יעבב את זמן ההגעה לשוק של מודלי בינה מלאכותית (משך הזמן הנדרש מרגע פיתוח ואימון מודל חדש ועד שהמודל מוכן לשיווק ושימוש מסחרי) – רכיב חיוני בתחרותיות בתחום, ועלול להוביל להחמצת הזדמנויות כלכליות.

השתלשלות העניינים באירופה בהקשר זה מספקת לקחים. כיום, כ-62% מקיבולת חוות השרתים באירופה מרוכזת בשווקים הידועים כ-FLAP+D, בסמוך למרכזי המטרופולין הגדולים (פרנקפורט, לונדון, אמסטרדם, פריז ודבלין). האטרקטיביות ההיסטורית של מרכזים אלו נבעה בעיקר מקרבה למרכזי ביקוש גדולים (ריכוזי אוכלוסין), שאפשרה

שביצעה רשות החשמל בשנת 2025 העלתה כי מעל למחצית מהפרויקטים שהחלו ונבחנו נמצאו בעיכוב ביחס למועד היעד, בעיקר עקב חסמים סטטוטוריים וכי כל הפרויקטים שהסתיימו לא עמדו במועד הסיום שנקבע להם בתוכנית הפיתוח [9]. מצב זה מעלה חשש כי **קצב פיתוח הרשת לא יעמוד בקצב הביקוש הצפוי להקמת חוות שרתים, ועלול להטיל בספק את מוכנותה של רשת החשמל לקליטת תוספת הספק גבוהה מזו שהניחה תוכנית פיתוח הרשת. על כן, נדרשת התאמה מהותית בתכנון וביישום התשתיות כדי להבטיח היערכות מספקת לעשור הקרוב.**

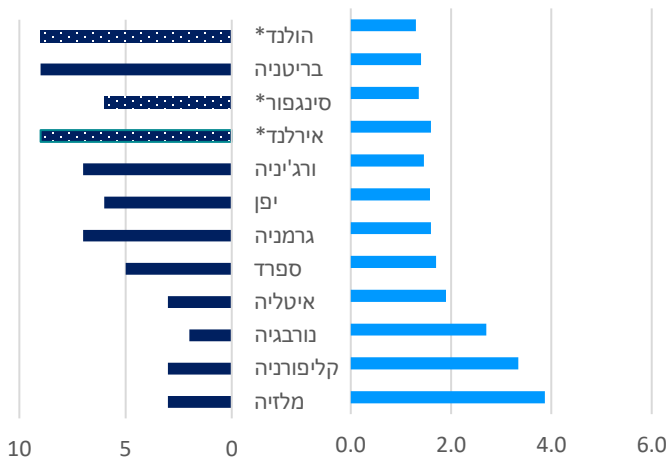
יש טעם להדגיש: הואיל וחוות שרתים נדרשות לאמינות חיבור גבוהה במיוחד לרשת החשמל וליכולת קירור רציפה (עד כ-30% מההספק הנצרך), המיקום האידיאלי עבורן הוא במישור החוף או בצפון הארץ, אזורים בהם תשתיות החשמל מפותחות, האקלים נוח יחסית, והביקוש מרוכז. עם זאת, ריכוז כזה עלול ליצור עומסים כבדים על מערכת ההולכה ולחייב פיתוח תשתיות נוספות, מאחר שבמדינת ישראל מרבית מקורות הייצור (במיוחד באנרגיה מחדשת) הם בדרום ואילו הביקושים מרוכזים בעיקר במרכז. כיום, מרבית ההזמנות הקיימות והצפויות לחיבור לרשת מרוכזות באזורים בהם ריכוזי האוכלוסייה גדולים ומתאפיינים במיעוט באמצעי ייצור חשמל כ-40% מההזמנות הן במרחב גוש דן והמרכז, אך במרחב זה ישנו מחסור באמצעי ייצור, שהחריף לאחר הסגירה של תחנת הכוח רדינג.

מכאן האתגר; בשעה שהרגולטור מרחיק תחנות כוח ממרכזי אוכלוסין ותעסוקה, יזמים מבקשים להקים חוות שרתים באזורים אלו בדיוק. ההערכה היא כי ההספק הנדרש לחוות שרתים במחוז מרכז תדרוש כ-30% מהספק תחנת הכוח מסוג מחזור משולב (מחז"מ) הנוסף שאמור לקום בגוש דן עד 2030 ושווה ערך לחיבור של כ-125 אלף משקי בית נוספים [8]. **המשמעות היא שחלק מיחידות הייצור החדשות שיוקמו לא יענו על צרכי האוכלוסייה אלא יזינו את חוות השרתים לבינה המלאכותית.**

כאמור, שקלול התמורות יחייב פשרות לא נוחות בין תושבים, תעשייה וחוות שרתים, ובהיעדר תכנון מוקדם וניהול קפדני של העומסים על הרשת, הלחצים עלולים להביא לפגיעה באיכות ואמינות אספקת החשמל בישראל.

ממצאי מחקר שבוצע על ידי Bloomberg ו-Whisker Labs [10], ממחישים את הפערים. במחקר נמצא מתאם מובהק בין הקמת חוות שרתים באזורים עם ריכוז אוכלוסייה גבוה לבין פגיעה באיכות אספקת החשמל. בנוסף, ניתוח נתונים ממאות

שיעור גידול (2024-2030) שנים בתור לחיבור לרשת (בממוצע)



*מדינות שנקטו בהגבלת ועיצור חיבורים חדשים; שיעור הגידול = 2024;

תרשים 5: שיעור גידול הקמת חוות שרתים אל מול משך חיבור לרשת בשווקים נבחרים

הנתונים (תרשים 5) מצביעים על מתאם בין משך זמן החיבור לרשת (עמודות שחורות) לבין שיעור גידול בהקמת חוות שרתים נמוך (עמודות כחולות)⁵.

במילים אחרות, מדינות עם זמני חיבור ארוכים מפספסות פוטנציאל צמיחה בשוק חוות השרתים, אשר מתקינים מצביעים ברגליים ועוברים להקימן במדינות אחרות, שם רשת החשמל עברה התאמות. מדינות שבהן זמן החיבור לרשת קצר במחצית מהזמן שנדרש בשווקים המרכזיים (אירלנד, הולנד לדוגמה), צפויות למשוך כ-20% יותר צמיחה בתחום עד שנת 2030.

בהקשר זה, איטליה מהווה מקרה מבחן מעניין. זמן ההמתנה לחיבור לרשת במדינה עומד על כשלוש שנים בלבד והמדינה ניצבת בשורה אחת עם המדינות הנורדיות כשוק מפתח לצמיחה משמעותית בחמש השנים הקרובות. האטרקטיביות של המדינה והיערכות תשתיתית הובילו לזינוק בבקשות חיבור לחוות שרתים שהוגשו למפעיל הרשת בהיקף מצטבר של 30 ג'יגה-ואט עד סוף 2024. כמעט 80% מהבקשות הללו הוגשו במהלך 12 חודשים בלבד, מה שמעיד על העניין הרב של יזמים ובחירתם להתמקם בשווקים בעלי תשתיות מוכנות. לשם השוואה, 30 ג'יגה-ואט הם כ-40% מביקוש השיא לחשמל של

העברת נתונים מהירה. עם זאת, ההשפעות השליליות על רשת החשמל והעומס שנוצר הוביל יזמים ומקימים של חוות שרתים להתרחק ממוקדים אלו, וכך הדומיננטיות של שווקי ה-FLAP+D נשחקת, כאשר שיעור הקיבולת בשווקים אלה צפוי לרדת ל-55% עד שנת 2030 ו-50% עד שנת 2035. הסיבה לכך, נובעת מתשתיות בלתי-ערוכות ועומסים כבדים אשר חייבו את מפעילי הרשת לנקוט בצעדים רגולטורים שמטרתם עיכוב החיבור לרשת, ואף איסור על הקמת חוות שרתים חדשות עד שנת 2030 [11].

בתוך כך, במרכז ומערב אירופה (בריטניה, הולנד, גרמניה ועוד) הולכים ומתארכים תורי ההמתנה לחיבור, שכן מפעילי המערכת מתקשים להקצות קיבולת למשתמשים חדשים, דבר המרתיע יזמים. סקר שנערך על ידי DLA Piper ו-TMT Finance בקרב 176 נשאלים ביניהם מנהלים בתעשייה חוות השרתים, משקיעים, ממנים ויועצים מצא כי 98% חוששים לגבי זמינות ואמינות אספקת החשמל בעת קבלת החלטות על פרויקטים של חוות שרתים ולמעלה ממחצית ציינו כי העניין מהווה מכשול מרכזי להשקעה [12]. בשווקי ה-FLAP+D מתקנים חדשים ממתנים בין שבע לעשר שנים בממוצע לחיבור, ובחלק מהשווקים העיקריים אף 13 שנים.

בשעה שמדינות מרכז ומערב אירופה בוששו במקומן, מדינות צפון אירופה השקיעו ברשתות החשמל. למשל, מפעיל הרשת הדני Energinet זיהה כבר בשנת 2017 את ההזדמנות למצב (to position) את דנמרק כמרכז עתידי לחוות שרתים, והחל להקים תחנות משנה במתח גבוה כהיערכות לחיבור חוות שרתים לרשת. כתוצאה, דנמרק הפכה יעד מרכזי להשקעות בתחום, עם קצב צמיחת קיבולת מרשים של 26% בשנה, בחמש השנים האחרונות [11].

⁵ עיבוד נתוני [11] EMBER, [1] IEA, [25] upwind, Mordor intelligence, [26] California Energy Commission, [27] Singapore Economic -I, [28] Development Board

3. ממקורות אנרגיה מתחדשת. יעדים אלו מחייבים את היזמים בתכנון חוות שרתים חכמות, המפחיתות את השפעתן על משק האנרגיה.
4. **מדיניות אזורית להקמת חוות שרתים** – מרבית המדינות פיתחו מדיניות תכנונית המחייבת או מתמרצת הקמה של חוות שרתים באזורים רצויים שבהם הרשת אינה גדושה. מדיניות זו נעה בין הגבלות על הקמה או עצירת חוות שרתים באזורים עמוסים, לבין חובת עמידה בתנאים תכנוניים ואנרגטיים כתנאי לחיבור לרשת. מנגד, היא יכולה להיות מדיניות מעודדת באמצעות תמריצים כגון הקלות מס, היתרים מזורזים או הנחות במחירי הקרקע. גיבוש מדיניות מסוג זה מייצר ודאות תכנונית ליזמים, שכן באזורים המוגדרים הסבירות לחיבור גבוהה יותר.
5. **מענקים וסבסוד להתייעלות באנרגיה ולאנרגיות מתחדשות** גיבוש מסלולים ייעודיים לחוות שרתים המאפשרים סיוע בהקמת מערכות אנרגיה מתחדשת או ברכישת ציוד יעיל אנרגטית.

להמחשה, ניתן לראות בטבלה מטה כי בגרמניה קיימת אסטרטגיה לאומית ודרישות דיווח מחייבות לחוות שרתים, לצד קביעת דרישות ביצוע מינימליות (ראו פירוט מטה) וחובת אספקת אנרגיה ממקורות מתחדשים. כמו כן, בחלק מהמדינות אמצעי המדיניות עדיין נמצאים בבחינה מתקדמת (מסומנים בנקודה ירוקה בהירה). להלן סיכום ממצאי הסקירה הבינ"ל⁶:

מדינה	אסטרטגיה לאומית	דרישות דיווח על צריכת החשמל	חובת סף יעילות PUE	מדיניות מיקום חיבור	מענקים להתייעלות אנרגטית מתחדשות	חובת אספקת מקורות מתחדשים
מלזיה	●	●	●	●	●	
קליפורניה	●	●	● במגזר הציבורי בלבד	● תלוי מחוז	●	
יפן	●	●	●	● תלוי מחוז	●	●
נורבגיה	●	●				
איטליה	●	●		● תלוי מחוז		
ספרד	●	●	●		●	
גרמניה	●	●	●			● 50% מ-2024 ● 100% מ-2027
ורג'יניה	●	●	● תנאי להקלות מס	●		
אירלנד	●	●	●	●		● תנאי לעדיפות בתהליכי חיבור לרשת לחוות חדשות
סינגפור	●	●	●	●	●	
בריטניה	●	●	●	●		
הולנד	●	●	●	●		
צרפת	●	●	●	●	●	
סין	●	●	●	●	●	● 80% עד 2030
אוסטרליה	●	●	●	● תלוי מדינה	●	● במגזר הציבורי בלבד, 100% מ-2025

איטליה כיום, נתון שממחיש את הלחץ הפוטנציאלי על הרשת גם אם רק חלק מהפרויקטים הללו יצאו לפועל [11].

לשם הדגשה, חברות טכנולוגיה אינן ממתירות להקמת התשתיות הדרושות, הן עוברות לאזורים בהם התשתיות מוכנות וערוכות. כך למשל, חברת EirGrid התריעה בפני ממשלת אירלנד בשנת 2024 מפני "נדידה" של חוות שרתים למדינות אחרות.

סקירה: מדינות נוקטות באסטרטגיה ברורה כדי להבטיח תחרותיות ולשחרר השקעות

ההאצה הדרמטית בביקוש לחשמל מצד חוות שרתים מחייבת גיבוש אסטרטגיה לאומית שתבטיח כי המשק הישראלי יישאר תחרותי ואטרקטיבי להשקעות מבלי לכרסם באיכות ואמינות אספקת החשמל. נדרשת מדיניות אינטגרטיבית שתשלב בין תכנון רשת, רגולציה כלכלית, תמריצים להשקעה ויעדים ארוכי טווח לשילוב ייצור חשמל ממקורות אלטרנטיביים, בשילוב טכנולוגיות אגירה. אסטרטגיה כזו תאפשר קביעת סדרי עדיפויות, ניהול עומסים מושכל, והבטחת תשתית יציבה, תנאי מוקדם לתחרותיות, לצמיחה ולשחרור השקעות פרטיות.

במסגרת הכנת מסמך זה נערכה סקירה בינלאומית של אסטרטגיות שונות במדינות הנחשבות לשווקים מובילים להקמת חוות שרתים באירופה, ארה"ב (קליפורניה וורג'יניה) ומזרח אסיה (סינגפור וסין). הסקירה התמקדה בצעדים שאותן מדינות נוקטות להתמודדות עם השלכות הבינה המלאכותית על משק האנרגיה.

מהממצאים עולה כי קיימות רמות התערבות שונות בהתאם למצב הרשת:

1. **איסוף מידע ושקיפות** – דרישות לדיווחי צריכה ואיסוף פרמטרים שונים על פרופיל הצריכה, העומסים ויעילות המתקנים מאפשרות לגבש מדיניות מושכלת וגמישה ולנהל את העומס ברשת באופן מיטבי. נוסף על כך, הן תורמות לשיפור יכולת החיזוי של העומסים ולהתאמה של תוכניות פיתוח הרשת.
2. **קביעת יעדים מחייבים ודרישות ביצוע מינימליות** – בחלק מהמדינות קיימת דרישה מחייבת לרמת יעילות צריכת החשמל (PUE) ואף לקביעת יעדים לאספקת הצריכה

⁶ על בסיס דו"ח IEA [1], ועוד

המלצות ליישום בישראל

על בסיס הערכת המצב הקיים, אתגרי משק החשמל וממצאי הסקירה, אנו ממליצים על מספר אסטרטגיות ליישום בישראל במטרה לאפשר גמישות ניהולית ותכנונית:

הקמת צוות להסרת חסמים ייעודיים

במדינות שבהן קצב פיתוח תשתיות החשמל אינו תואם את התחזיות לקצב ההתפתחות של הבינה המלאכותית, מתפתחת גישה בהולה אשר כוללת הקמה של צוותים ייעודיים להסרת חסמים נקודתיים [13]. גישה זו מאופיינת בפעולה מיידית כמענה ממוקד לאתגרי חיבור, רגולציה או תכנון המאיימים לעכב פרויקטים. נקטת צעדים אלו, ממחישים את הצורך הדחוף לפתור בעיות נקודתיות שמקורן בביקוש חדש, ולא בגיבוש אסטרטגיה כוללת המבטיחה כי יזמים וחברות טכנולוגיה גדולות לא יפנו פניהם לשווקים אחרים. ישראל נדרשת לגבש מדיניות כוללת שתבטיח ודאות תכנונית ותמנע מצב שבו יזמים וחברות טכנולוגיה יפנו לשווקים אחרים.

תחזית ביקוש ייעודית לחוות שרתים

יש לפתח תחזית ביקוש ייעודית שתשקף את מאפייני הצריכה הייחודיים של חוות שרתים ואת השפעתן של משק החשמל. בניגוד לתחזית כללית, תחזית הביקוש של חוות השרתים צריכה לשלב מקדמי התלכדות עם שיאי הביקוש הארציים והמגזריים, מקדמי ניצול, ודפוסי ביקוש עונתיים, לרבות קירור בקיץ וירידת עומסים בשעות קרות. תחזית כזו תאפשר תכנון מדויק יותר של תשתיות ייצור, הולכה וחלוקה, ותתרום לשמירה על אמינות האספקה, לקביעת סדרי עדיפויות בהקצאת קיבולת חיבור ולתיאום בין יזמים, מנהל המערכת ורשות החשמל.

הגדרת חובות דיווח ושקיפות נתונים

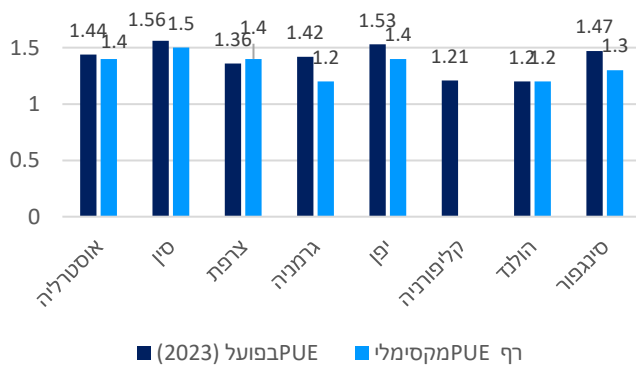
כיום חוות שרתים מחייבות לדווח על צריכת האנרגיה שלהן במסגרת תקנות מקורות אנרגיה (פיקוח על יעילות צריכת האנרגיה), ככל שצריכת האנרגיה השנתית שלהן עולה על 300 טשע"ן (כ-1.15 ג'יגה-וואט, לפי המקדם הקבוע בתקנות), כאשר הדיווח אחיד לכלל הצרכנים הגדולים. עם זאת, בהינתן היעדר הנתונים בתחום, קיימת חשיבות ליצירת דרישות דיווח ייעודיות שיאפשרו איסוף נתונים על רמת היעילות ופרופיל העומס לצורך גיבוש מדיניות מושכלת. **מוצע לעדכן את טופס הדיווח שיותאם לצרכנים מסוג זה.**

בנוסף, לשם הגברת השקיפות והיכולת לתכנן את הרשת, מוצע להקים **מאגר לאומי למידע על בקשות חיבור** הכולל נתונים עדכניים על חוות שרתים, מתקני אגירה ותעשייה, בשקיפות ונגישות מלאה לציבור.

הגדרת תקני יעילות אנרגיה

קביעת תקנים מינימליים של יעילות אנרגיה תבטיח כי חוות השרתים יתוכננו בצורה אופטימלית, שתאפשר הקצאה יעילה של משאבי הרשת.

בסינגפור, לאחר עצירת חיבורים חדשים בין 2019-2022, הוחלט לאפשר חיבור מוגבל של כ-300 MW בלבד תוך הצבת קריטריונים מחמירים, ביניהם רף יעילות PUE מקסימלי⁷ של 1.3. בגרמניה קבעה במסגרת חוק היעילות האנרגטית רף PUE מקסימלי של 1.5 עד יולי 2026, 1.3 בין 2027-2030 ו-1.2 מ-2030 ואילך, לצד קביעת חובת שימוש באנרגיה מתחדשת של 50% מסך האספקה.



תרשים 6: יעד PUE אל מול ממוצע ה-PUE בפועל במדינות נבחרות

מומלץ לעקוב אחר התפתחות הדירקטיבה האירופית לחוות שרתים ולאמץ את עקרונותיה כחלק מעדכון חוק מקורות אנרגיה, אשר כבר כיום כולל חובות יעילות למכשירי חשמל שונים בהתאם לדירקטיבות האירופאיות.

פרסום כללי רשת (Grid Code)

מוצע לגבש כללי רשת שיגדירו דרישות טכניות מחייבות לחיבור ולהפעלה של חוות שרתים במתח גבוה ועליון, ובכלל זה ניטור רציף של איכות החשמל כללים אלה נועדו להבטיח פעולה מתואמת של מתקני צריכה בהספקים גבוהים, שמירה על יציבות ואיכות האספקה, וצמצום סיכוני חיבור. פרסום כללי

⁷ מדד המשקף את היחס בין כלל צריכת האנרגיה לבין צריכת השרתים בלבד. ערך נמוך מעיד על יעילות גבוהה יותר, קרי צריכה נמוכה יותר במערכות תומכות כגון קירור ותאורה.

הגדרת מיקום אסטרטגי מאפשרת חיבור מהיר ומצמצמת את הצורך בהרחבת הרשת

הגישה לרשת היא בבחינת גורם מכריע בבחירת מיקום לחוות שרתים, אך בניית קווים ותחנות משנה חדשים אורכת שנים. הן מפעילי רשת והן יזמים יכולים לנקוט צעדים תכנוניים כדי לייעל את המיקום ולצמצם זמני חיבור והשקעות נדרשות.

בטווח הקצר, ניתן לכוון יזמים לאזורים מועדפים שבהם יש קיבולת פנויה ברשת או אזורים עשירים במקורות ייצור באנרגיה מתחדשת. בבריטניה למשל פורסם בתחילת 2025 קול קורא לזיהוי אזורי צמיחה לבינה מלאכותית (AIGZ), שקיבל למעלה מ-200 תגובות. ניתן לקבוע תמריצים שונים כגון הקלות מיסוי ותהליכי רישוי וחיבור מואצים למתקנים שיקומו באזורים שזוהו. ניתן להחיל את מדיניות החיבור המדורגת באזורים אלו תחילה.

בטווח הארוך, נדרש תכנון מרחבי אסטרטגי מתואם בין השקעות ברשת, באנרגיות מתחדשות ובחווות שרתים. תהליך כזה מצריך שיתוף פעולה הדוק בין כל השחקנים.

במטרה למטב השקעות, ניתן להגדיר מראש (ואף לתכנן תשתיות חשמל מתאימות) אזורים מועדפים שבהם זמינות הרשת טובה יותר, לדוגמה מחוץ למרכזי הביקוש. כמו כן, חוות שרתים יכולות להיות ממוקמות בסמוך למתקני ייצור ואגירה, ובכך לצמצם את ההשפעה על רשת ההולכה, להשתלב בתוכניות הפיתוח ולמזער את עלויות פיתוח הרשת.

סיכום

בינה מלאכותית, חוות שרתים, ותשתיות אנרגיה וחשמל קשורים קשר גורדי, בל-ינתק.

ישראל תפסיד במרוץ הבינה המלאכותית העולמי אם לא תשכיל להכשיר את תשתיות האנרגיה שלה.

תכנון רשת מתקדמת, צופה פני עתיד מוכרח להיות נדבך באסטרטגיה הלאומית לבינה מלאכותית.

בתוך כך, ישנן פעולות קצרות טווח, כמו גמישות חוות שרתים והסכמי חיבור אלטרנטיביים, שיסייעו בהתמודדות עם עומסי הרשת.

על ישראל לגבש אסטרטגיה ברורה הנותנת מענה לצרכים החדשים שמייצרת הבינה המלאכותית לרבות:

1. גיבוש פתרונות קצרי טווח וארוכי טווח לקיצור זמני החיבור לרשת של חוות שרתים חדשות;
2. גיבוש מדיניות תכנונית אזורית להקמת חוות שרתים חדשות;

רשת ייעודיים ייצור ודאות הנדסית ותכנונית ויתרום לשילוב מאוזן של חוות שרתים במשק החשמל.

חיבור מדורג לרשת לטובת גמישות בתכנון

נתונים זמינים מצביעים על כך שחווות שרתים משתמשות כיום רק בחלק קטן מקיבולת החיבור שלהן לרשת, ומשאירים מרווח לצמיחה. לפי נתוני IEA ו-McKinsey, חוות שרתים באירופה ניצלו בממוצע רק כ-44% מההספק הנומינלי (גודל החיבור) המוזמן בשנת 2024. באירלנד, דווח על שיעור ניצול ממוצע של כ-34%, ובנורבגיה כ-30% בלבד [1]. **שיעורי ניצול נמוכים הופכים את חוות השרתים למועמדים טבעיים לגישה מדורגת:** קבלת חיבור מידי לכ-50% מהצרכים, והגדלת הקיבולת בהדרגה לאורך זמן. גישה זו מאפשרת למנהל המערכת תוואי צמיחה ברוך, המאפשר גמישות רבה יותר בתכנון.

גמישות חוות שרתים

אימוץ מודלים גמישים לחיבור לרשת יכול לשחרר קיבולת באזורים עמוסים ולקצר זמני חיבור. על אף שחווות שרתים נחשבות לרוב לבעלות "עומס קשיח", נתונים בפועל מראים שגם בחוות מסוג Colocation, הצריכה עשויות לעלות או לרדת עד 30% בין ימים, בהתאם לעומסי מחשוב ה-IT [11]. כמו כן, קיימת גם עונתיות מסוימת בשל צרכי הקירור. בחוות שרתים לבינה מלאכותית, הביקוש תלוי אף בשלבי אימון המודלים ובשימוש בפועל, ולכן עשוי להשתנות משמעותית. על כן, באמצעות תזמון חכם של משימות ועיבוד בקבוצות, ניתן לבצע אופטימיזציה לפרופיל העומס, בהתאם למחירי החשמל, עומסי הרשת ולייצור המקומי.

ה-IEA מעריכים כי אם חוות שרתים באירופה יספקו רק 30 שעות של גמישות בשנה, הקיבולת הזמינה להם ברשת יכולה אף להכפיל את עצמה [11]. הנחות שגויות לגבי פרופיל צריכת החשמל (כמו הנחה של עומס קבוע לחלוטין) עלולות להוביל לתכנון שגוי ולהערכת יתר של צרכי ההשקעה ברשת.

יש לבחון פרויקטי פיילוט לבחינת גמישות חוות שרתים.

בנוסף, מוצע לקדם רגולציה שתאפשר לחוות שרתים להשתלב במתן שירותי מערכת למנהל המערכת, ובכך להפוך מגורם צריכה פסיבי לגורם גמיש התורם ליציבות הרשת. שירותים אלו עשויים לכלול ויסות תדר ו-FFR (Fast Frequency Response), אגירת אנרגיה משולבת ומנגנוני ניהול עומס בצד הביקוש (DSM). שילוב זה יאפשר לחוות השרתים להפוך מצרכן פסיבי לגורם גמיש התורם ליציבות הרשת ולניצול יעיל יותר של תשתיות החשמל.

- 4 Available: <https://www.apolloacademy.com/data-centers-share-of-total-power-consumption>
Upwind, "U.S. Data Center Powerhouses: The 5 Fastest-Growing Hubs," Upwind, 12 November 2024 [מקוון].
- 5 Available: <https://www.upwind.io/industry-research/data-center-powerhouses>
& Mordor Intelligence, "Japan Data Center Market SIZE 2 FORECASTS UP & SHARE ANALYSIS - GROWTH TRENDS 6 Available: [מקוון]. TO 2030," Mordor Intelligence, 2025 [<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/japan-data-center-market>]
- California Energy Commission, "2024 IEPR: Data 2 Available: [מקוון]. Center," March 2025
7 https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2025-03/Data_Center_Forecast_Final_ada.pdf [
- EDB Singapore, "Singapore to expand data centre 2 capacity by at least one-third, pushes for green energy 8 Available: [מקוון]. use," EDB Singapore, 30 May 2024 [https://www.edb.gov.sg/en/business-insights/insights/singapore-to-expand-data-centre-capacity-by-at-least-one-third-pushes-for-green-energy-use.html?utm_source=chatgpt.com]
- IEA, "Efficient Management of Electrical Energy 2 Available: [מקוון]. Regulations 2008," IEA, 2017
9 <https://www.iea.org/policies/2387-efficient-management-of-electrical-energy-regulations-2008> [
- S. M. Kerner, "Malaysia's Data Center Bet: New 3 Planning Guidelines Set to Drive Growth," 0 [מקוון]. DataCenterKnowledge, 11 November 2024 [Available: <https://www.datacenterknowledge.com/data-center-site-selection/malaysia-s-data-center-bet-new-planning-guidelines-set-to-drive-growth>]
- A.-L. Ligozat, "Estimating The 1 A. S. Luccioni, S. Viguier 3 Carbon Footprint of Bloom, A 176 Parameter Language 1 Available: [מקוון]. Model," 3 November 2022 [<https://arxiv.org/pdf/2211.02001>]
- https://reports.weforum.org/docs/WEF_Artificial_Intelligences_Energy_Paradox_2025.pdf
מבקר המדינה, "פיתוח משק החשמל לקראת שנת 2030," 1 Available: [מקוון]. 2024
7 <https://library.mevaker.gov.il/sites/DigitalLibrary/Documents/2024/2024.11-75A-PartB/2024.11-75A-PartB-202-Electricity-2030.pdf> [
- A. Tartar, "AI Needs So Much 1 L. Nicoletti, N. Malik 1 Power, It's Making Yours Worse," Bloomberg, 27 8 Available: [מקוון]. December 2024 [<https://www.bloomberg.com/graphics/2024-ai-power-home-appliances/?srnd=homepage-middle-embedded-checkout=true&east>]
- J. Morales, "A single modern AI GPU consumes up to 1 3.7 MWh of power per year — GPUs sold last year alone 9 consumed more power than 1.3 million homes," Tom's [Available: [מקוון]. 2024 Hardware, 14 June <https://www.tomshardware.com/desktops/servers/a-single-modern-ai-gpu-consumes-up-to-37-mwh-of-power-per-year-gpus-sold-last-year-alone-consume-more-power-than-13-million-households>]
- משרד האנרגיה והתשתיות, "סטטוס יישום התכנית הלאומית להתייעלות באנרגיה," משרד האנרגיה והתשתיות, 1 יולי 2025. [מקוון]. <https://www.gov.il/he/pages/news-300625> [
- EMBER, "ASEAN's data centres electricity demand 2 Available: <https://ember-keeps growing>, 2025 [מקוון]. 1 <https://energy.org/chapter/setting-the-scene> [
- Wood Mackenzie, "Japan's data centre boom to drive 2 60% of power demand growth as US\$28 billion 2 hyperscaler investment reshapes grid," Wood [Available: [מקוון]. Mackenzie, 26 August 2025 <https://www.woodmac.com/press-releases/japan-data-centers-power-demand/#:~:text=Japan's%20data%20centres%20will%20consume,threefold%20increase%20from%202024..%20levels>]
- EUROPEAN DATA CENTER ASSOCIATIONS, 2 Available: [מקוון]. "EUROPEAN," October 2024
3 https://www.germandatacenters.com/fileadmin/documents/publications/European_Data_Center_Overview..pdf [
- T. Sløk, "Data Centers' Share of Total Power 2 [מקוון]. Consumption," Apollo, 8 October 2024