

## זמינות כנגד יעילות במתקני מחשב

שמעון כץ, מאמר לכנס חשמל, אילת 2010

מתקני מחשב מודרניים מהווים כיום תשתית קריטית לרוב הארגונים. התלות במשאבי החישוב אינה מאפשרת לארגון מודרני לתפקד ללא משאבים אלה. בארגונים כלכליים הדבר בא לידי ביטוי בעלות השעתית להשבתה שיכולה להגיע גם למאות אלפי דולרים לשעה במקרים של ארגונים בנקאיים, חברות אשראי או בורסות למסחר.

התלות במתקני המחשב הובילה את השוק לדרישה להקמת מתקני מחשב בעלי זמינות גבוהה. במקביל קיימות מגמות בעולם ה-IT המשפיעות על מתקני המחשב: גידול בהיקפי הציוד, גידול בצריכת האנרגיה וגידול בצפיפות האנרגיה. כל זאת, יחד עם גידול בעלויות האנרגיה מביאים לעלות מאמירה בעלות האחזקה כוללת - TCO (TOTAL COST OF OWNERSHIP) של ציוד IT. חוסר ביכולת אספקת אנרגיה יחד עם המגמה הסביבתית מחמירות מגמות אלה.

יחד עם זאת קיימים פתרונות המאפשרים לשמר את הזמינות יחד עם זאת להוריד את מודל הקיום של המתקן. במסמך זה אפרט את המגמות יחד עם פתרונות שאומצו במסגרת תכנון של מתקן מחשבים עתיר אנרגיה הנמצא בשלבי התכנון הסופיים שלו.

### 1. רקע

מתקני מחשב מהווים כיום תנאי הכרחי לפעילותו של כמעט כל גוף. כיום ניתן למצוא מתקני מחשב בכל סקטור או ארגון, ביניהם ארגונים: פיננסיים, עסקיים, אקדמיים, ממשלתיים, בריאותיים וכן בתקשורת, בהי טק ועוד. המעבר מכלכלה מבוססת ניר לניהול מידע דיגיטלי הביא לגידול בצורך ובחשיבות של מתקני מחשב. מתקנים אלה מכילים בעיקר שרתים לעיבוד מידע, מערכי אגירה וציוד תקשורת.

מתקני מחשב נמצאים בתהליך מתמיד של גידול הנובע מצורך גובר בעיבוד מידע ואיגרתו. הגידול בצרכים נובע בין היתר מהסיבות הבאות:

- גידול בהיקף ההעברות בגופים פיננסיים והגידול בהיקף הסחר האלקטרוני.
- הגידול המתמיד בשימוש באינטרנט.
- המעבר לשימוש בהדמיות בעולם הרפואה.
- הגידול בהיקף הסחר העולמי.

ציוד המחשבים, כצרכן אנרגיה, זקוק לתשתיות אספקת אנרגיה מחד ולקירור מאידך. לגידול בצרכי האנרגיה ישנן השפעות הכוללות:

- גידול בעלויות האנרגיה.
- פליטה מוגברת של גזי חממה
- הגדלת המצוקה על רשת החשמל
- גידול בעלויות ההון הנדרש להקמת מתקני מחשב חדשים ולהרחבת מתקנים קיימים.

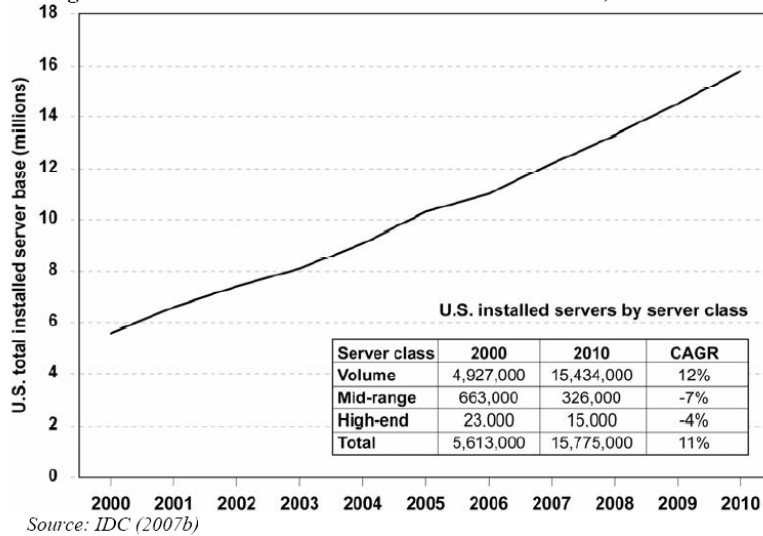
בארה"ב הגיעה הצריכה של מתקני מחשב ל 1.5% מהצריכה הכוללת בשנת 2006 והצפי היה כי היקף זה יכפיל את עצמו תוך 5 שנים<sup>1</sup>. הגידול המתמיד הביא את הממשל האמריקאי לפרסום דו"ח<sup>2</sup> שמטרתו להצביע על המגמות ולהמליץ על שיטות להפחתת הצריכה במתקני מחשב מתוך חשש שהגידול המתמיד יחייב את הממשל להטיל מגבלות על הגידול בתחום זה.

### 2. פירוט המגמות העיקריות והשפעתן על עולם ה DC

#### 2.1 גידול בהיקפי הציוד

היקף ציוד ה-IT עולה בצורה מתמדת. מגמה זו באה לידי ביטוי בכלל התחומים, בשרתים, באגירה ובתקשורת. הגרף שלהלן מצביע על מגמת הגידול בעשור האחרון כפי שנצפתה בשנת 2007.

Figure 2-3. U.S. Installed Server Base Growth Trends, 2000 to 2010

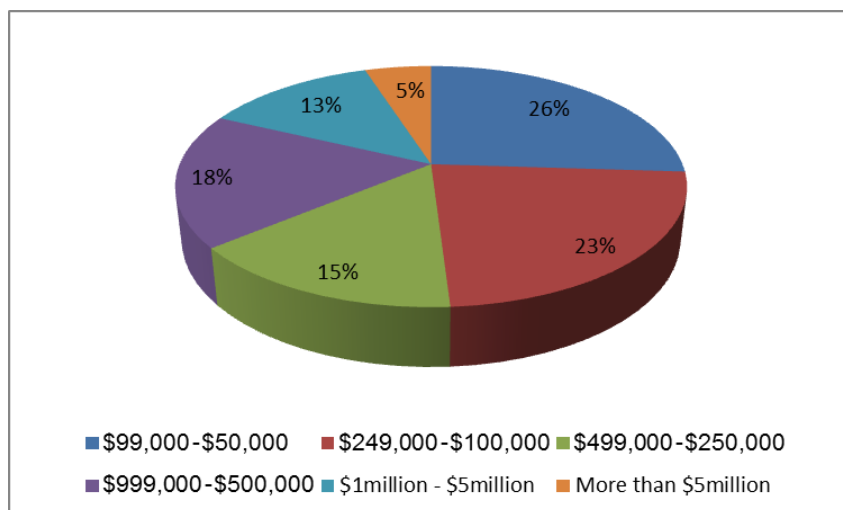


מגמת הגידול  
בהתקנות שרתים,  
מתוך דוח ה EPA

המשבר הכלכלי בשנתיים האחרונות השפיע על היקף ההשקעה בציוד IT. בין השנים 2008 ו 2009 הייתה ירידה בהיקף של כ 8% בהשקעה העולמית בציוד IT, יחד עם ב 2010 ניתן לראות תיקון של מגמה זו<sup>iii</sup>.

## 2.2. עלות השבתה לשעה

התלות המוחלטת בתשתיות המחשוב הביאו יחד איתן משמעויות כלכליות הנגזרות מהשבתה של תשתיות אלה. הסיבות להשבתה יכולות לנבוע החל מתקלת תשתית, דרך אסון טבע וכלה בגורם האנושי. העלות השעתית להשבתה משתנה בהתאם לסוג המשתמש. בגופים פיננסים, או כאלה העוסקים בסליקה עלות ההשבתה יכולה להגיע למיליוני דולרים לשעת השבתה<sup>iv</sup>.



פילוח עלויות לשעת  
השבתה – מתוך סקר  
חברי AFCom 2006

מעבר לעלויות הישירות הנובעות מאבדן רווח ואבדן יכולת יצור קיימות עלויות נוספות הנובעות מהצורך בשחזור מידע, מקנסות, ואיתם גם אבדן לקוחות ואבדן מוניטין.

## 2.3. רגולציה

חשיבותם של משאבי המחשוב הביאו גם את הרשויות להתערב ולהגדיר למגזרים שונים כללים להבטחת זמינות המידע, שקיפותו וחסינותו בפני אירועי קיצון. המוטיבציה לדרישות אלה נבעה

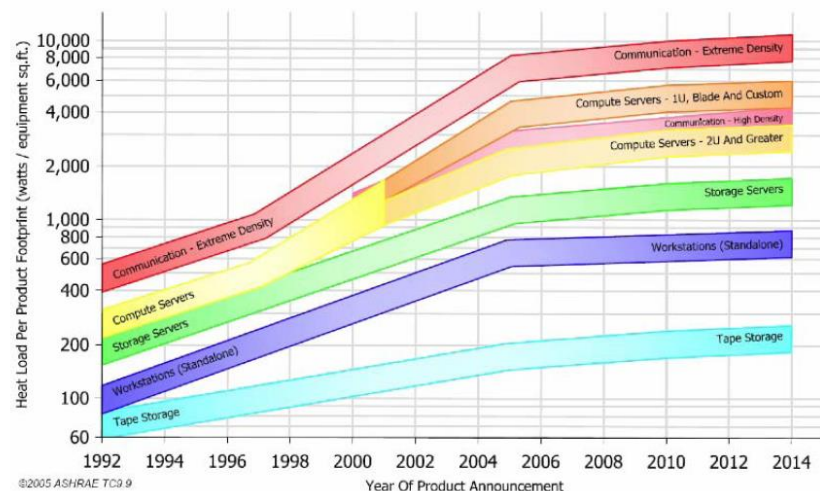
ממקורות שונים: יציבות בנקאית<sup>1</sup>, שקיפות פיננסית למניעת מעילות<sup>2</sup>, או חשש גובר מטרור. בחלק מהמקרים הדרישה מגיעה מחברות ביטוח המחייבות את לקוחותיהם בזמינות גבוהה של מתקני המחשבים או בהקמת מתקני גיבוי כחלק מתנאי חוזה הביטוח. הרגולציה בפני עצמה אינה מגדירה בהכרח באופן ישיר היבטי תשתית אבל בעקיפין יש לה נגזרות תשתית משמעותיות:

- צורך בתוספת מערכות מחשוב (שרתים, עומק אגירה) הדורשת הרחבת תשתיות.
  - זמינות גבוהה המחייבת השקעה גם בתשתיות אמינות.
  - מתקנים יתירים המחייבת הקמה של מתקנים נוספים.
- במקביל לרגולציה פותחו גם תקנים להקמת תשתיות קריטיות למחשבים, כפי שיפורט בהמשך.

## 2.4 גידול בצריכת האנרגיה

בין השנים 2000 ל 2006 גדלו יכולות החישוב פי 25, אך במקביל היעילות האנרגטית גדלה רק פי שמונה<sup>5</sup>. גידול זה בא לידי ביטוי הן בצריכה הכוללת אבל בעיקר בצפיפות האנרגיה ליחידת שטח. ארגון ASHRAE יחד עם חברות המחשבים ביצעו הערכה של צפיפות האנרגיה החזויה לציוד IT<sup>vi</sup>. מן הגרף, שעודכן מאוחר יותר ב 2008, ניתן לראות את הגידול החד בצריכת האנרגיה ליחידת שטח בכל תחומי ה IT. רוב מתקני המחשב, שהיו קיימים בתחילת העשור, לא היו מתאימים לקליטת ציוד בצפיפות הספק כזו ולפיכך, במידה והותקן בהם ציוד מודרני, הוא הותקן בצורה שאינה אפקטיבית תוך פיזור הציוד על פי הצפיפות המקסימלית של התשתית ובזבז שטח.

Figure 2-5. ASHRAE TC 9.9 Equipment Power Density Projections



גרף גידול  
בצפיפות האנרגיה  
ליחידת שטח  
בציוד מחשבים

## 2.5 גידול בעלויות הבעלות – TCO<sup>3</sup>

הגידול בצפיפות האנרגיה מחד וירידה בעלויות של ציוד IT מאידך הביאו למצב בו אחד המרכיבים המשמעותיים בעלות הכוללת של הבעלות על ציוד IT לאורך מחזור חייו הפך להיות חשבון החשמל. החל מאמצע שנות ה 2000 הוצאות לחשמל להזנה ישירה של שרתים, למיזוג האוויר שלהם ולהפסדים האחרים סביבם גדולים מעלותו הישירה של הציוד.

## 2.6 משק האנרגיה והיבטים סביבתיים

ללא קשר למגמות בעולם המחשבים קיימות מגמות בלתי תלויות המשק האנרגיה. עלות האנרגיה מאמירה באופן קבוע. באמצע שנות התשעים עלה קוט"ש בארה"ב כ 7 סנט וכיום עלותו כ 10 סנט. גם בארץ מחירי האנרגיה השתנו בצורה דומה<sup>vii</sup>. בנוסף קיימת מצוקה גם בעתודות יצור החשמל, דבר

<sup>1</sup> כדוגמת תקנות BASEL II המגדירות כי לגוף בנקאי יהיה מתקן יתיר.

<sup>2</sup> כדוגמת תקנות ("SOX") Sarbanes-Oxley (2002) המחייבות להבטיח את חסינות המידע ואגירה של מסמכים.

<sup>3</sup> Total cost of ownership

המקשה להתמודד עם הגידול המתמיד בצריכה. משק האנרגיה בישראל (וגם בחלקים מארה"ב) מנוהל במחסור<sup>viii</sup> בין רמת הצריכה והרזרבה הרצויה לבין כושר הייצור המותקן. במקביל למגמה זו עלתה גם המודעות להיבטים סביבתיים. דו"ח ה EPA הינו דוגמא את למעורבות של גורמי סביבה בתחום. דוגמאות נוספות ניתן למצוא בחברות המחשבים עצמן. המודעות לצריכת האנרגיה של השרתים הביאו את החברות להדגיש את הסוגיות הסביבתיות ולעסוק אף הן בהתייעלות בתחום ה IT.

### 2.7 מצב מתקני המחשב

המגמות הנ"ל, יחד עם השינויים התכופים בעולם ה IT והצרכים המשתנים באופן תדיר של צרכני המחשוב הביאו את רוב מתקני המחשב למצב משברי. נושא תשתיות החשבים הפך לאחד הנושאים המרכזיים בדיונים ובכנסים שעסקו באופן מסורתי בסוגיות של טכנולוגיה. סקרים שנערכו בקרב אנשי מחשבים הצביעו כי התשתיות הפכו לגורם מעכב<sup>ix</sup>. כבר בשנת 2006 התחזית של גרטנר קבעה כי עד 2008 50% ממתקני המחשב יהיו במצוקת תשתית כתוצאה ממחסור בחשמל או יכולת קירור. בפרסום של גרטנר<sup>x</sup> עולה כי כ 50% ממתקני המחשב הם בני שנתיים עד שלוש שנים מה שמצביע על התממשות המגמה שנחזתה.

### 2.8 מודעות בקרב חברות ה IT

חברות המחשבים מודעות לסוגיות הנ"ל בצורה מעמיקה. אם בעבר הרחוק הייתה גישתן של חברות המחשבים כי התשתיות הינן "בעייתו של הלקוח" הרי שכיום סוגיות אלה מעניינות את החברות הן בשל המודעות הסביבתית, הן בשל משמעותן הכלכלית והן בשל העובדה שמצוקת התשתיות מונעת מלקוחות רבים לממש את צרכי ה IT שלהם.

### 3. תקינת תשתית

המגמות שהוצגו לעיל הביאו להתפתחות של תקינה תשתיתית. המושג תקינה אינו בא להצביע על חובה חוקית למימושה אלא על יצירת מכנה משותף מקובל למימוש תשתיות. המקורות לתקינה היו מגוונים. הם התפתחו מתוך התכנון הנדסי של מתקני מחשב והפקת לקחים של מתכננים ושל לקוחות. בשנת 1993 נוסד ארגון THE UPTIME INSTITUTE<sup>xi</sup> (TUI). הארגון הוביל ליצירת קהילת ידע של משתמשי קצה בתחום תשתיות המחשבים. הארגון מאגד בתוכו חברים הבאים ברובם מארגונים גדולים הנמצאים בטבלת ה FORTUNE – 100. הארגון מתמקד בתשתיות מתקני מחשב, הממשק ביניהן לעולם ה IT וכיצד שניהם משפיעים על העלות, האמינות וצריכת האנרגיה. שיתוף הידע בתחום התשתיות מאפשר למידה משותפת על בסיס תצורות המתקנים ואיסוף מידע על תקלות. הארגון היה חלוץ בפיתוח סטנדרטים בתחום התשתיות למתקני מחשב. סיווג ומדרוג התשתיות למתקני מחשב שפרסם הארגון הפך לסטנדרט מקובל ושימש כבסיס לפיתוח תקן TIA בנושא.

### 3.1 מדרוג מתקני תשתית על פי UPTIME INSTITUTE

מדרוג המתקנים של ה TUI מבוסס, כפי שצוין לעיל, על ניסיון מצטבר וניתוח תקלות של חברי הארגון. הניסיון האמפירי הביא להגדרה של ארבע מדרגות תשתית. לכל מדרגה תצורה מובנית ורמת זמינות. בטבלה שלהלן מרוכזים חלק מהמרכיבים של כל מדרוג.

TIER IV	TIER III	TIER II	TIER I	מרכיב / מדרגה
מערכת+מערכת	מערכת	מערכת	מערכת	מקורות אנרגיה
מינימום של N+1	N+1	N+1	N	יתירות מערכתית
2 פעילים בו זמנית	1 רגיל + 1 חלופי	1	1	מסלולי אספקה
כן	כן	לא	לא	יכולת אחזקה תוך כדי עבודה

חסינות לתקלה לאירוע בודד	לא	לא	לא	כן
רמת העמסה למערכת	100%N	100%N	90%N	90%N
זמן השבתה שנתי (על פי ניסיון אמפירי)	28.8 שעות	22 שעות	1.6 שעות	0.8 שעות
זמינות	99.67%	99.75%	99.98%	99.99%
שנה בה יושם לראשונה	1965	1970	1985	1995
עלות הקמה (ארה"ב) - מבנה	\$ 2350 למ"ר	\$ 2350 למ"ר	\$ 2350 למ"ר	\$ 2350 למ"ר
עלות הקמה - ל KW UPS	10,000\$/KW	11,000\$/KW	20,000\$/KW	22,000\$/KW

המסמך המכונן עליו מתבסס המדרוג<sup>xii</sup> פורסם לראשונה בשנת 1996 אך הוא מעודכן מעת לעת. המסמך כולל בין היתר גם סכמות חד קוויות המגדירות בצורה אילוסטראטיבית את הטופולוגיה של המתקן.

יש לציון כי המדרוג מוגבל לארבע מדרגות אלה בלבד. ארגון TUI מזהיר מפני שימוש במדרגות ביניים. התפוצה הרחבה של המדרוג הפכה אותו בפועל לסוג של תקן. ארגונים וגופי בקרה, כגון חברות ביטוח, מחייבים כי מתקני המחשב הנבנים עבורם או עבור לקוחותיהם יעמדו בהגדרות המדרוג ודורשים כי הם יבדקו על פי הגדרות אלה.

### 3.2 מדרוגים נוספים

המדרוג של TUI הוא ככל הנראה המדרוג המוביל אבל אינו מדרוג יחיד. היות והמדרוג הנ"ל מוגבל לארבע מדרגות נוצרו במקביל אליו סטנדרטים נוספים. ביניהם מדרוג של חברת **BRUNS-PAK**<sup>xiii</sup> ושל חברת IBM. מידרוגים אלה כוללים 10 מדרגות והם מאפשרים גמישות רבה יותר של פתרונות.

### 3.3 תקן TIA 942

ארגון Telecommunications Industry Association (TIA) פרסם בשנת 2004 טיוטת תקן לתשתיות תקשורת למתקני מחשב<sup>xiv</sup>. התקן כול את הטופולוגיה המומלצת לתשתיות התקשורת והוא מכיל נספחים המפרטים את התצורה המומלצת לתשתיות המתקן. התקן כולל ארבע מדרגים והוא מציין בפירוט כי הוא מתבסס על התצורה שגובשה על ידי ה TUI. התקן כולל בין היתר הגדרות להיבטי התשתית בתחומים של בחירת אתר, תכנון אדריכלי וסביבתי, מערכות חשמל, מיזוג בטיחות ואבטחה. כל נושא מדורג לארבע מדרגות.

### 3.4 המלצות ארגון BICSI

BICSI הינו ארגון מקצועי המאגד בעלי מקצוע בתחומים התומכים את עולם ה IT. לאחרונה פרסם גם ארגון זה המלצות לתכנון ולמימוש מתקני מחשב<sup>xv</sup>. המלצות אלה כוללות את כלל מרכיבי התשתית החל מאיתור שטח להקמה, דרך תהליכי התכנון וכלה בבדיקות הקבלה למתקן.

### 3.5 מדדי יעילות אנרגטית

הגידול בצריכת האנרגיה של מתקני המחשב הביא לפיתוח מדדים ליעילות אנרגטית של מתקני מחשב. צריכת האנרגיה של מתקני מחשב נובעת מעבר לצריכה הישירה של הציוד גם מצריכה של מערכות המיזוג/קירור ומהפסדי הולכה והפסדים של מערכות אל פסק, שנאים ותאורה.

על מנת לאפשר למדוד ולהשוות את היעילות של מתקני מחשב ככלי לבקרה ולעידוד חסכון פותח מדד יעילות למתקני מחשב. ה PUE (POWER USAGE EFFICIENCY) מודד את היחס שבין הצריכה הכוללת של מתקן המחשבים<sup>4</sup> לבין הצריכה הישירה<sup>5</sup> של הציוד. מתקני מחשב קיימים וישנים פעלו ב PUE שיכול היה להגיע ליחס של 3 ואף למעלה מזה. כיום השאיפה הינה להיות סביב יחס של 1.6.

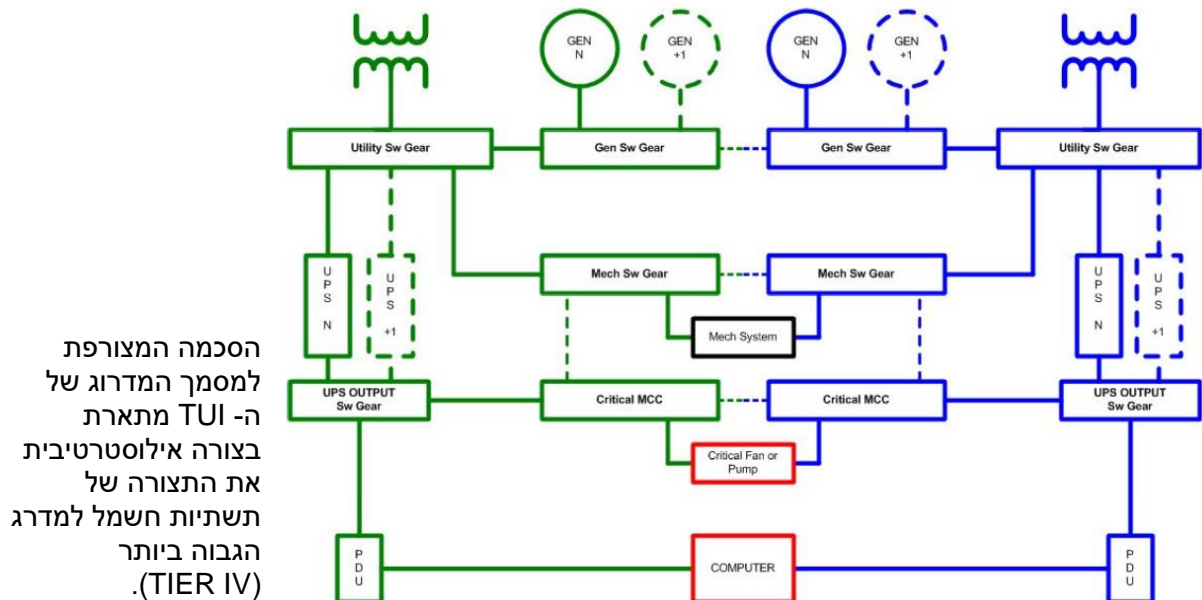
<sup>4</sup> לרבות: הפסדי הובלה, אל פסק, תאורה, קירור וכד'

<sup>5</sup> שרתים, אגירה, תקשורת וכד'

ישנה אפשרות לרדת מיחס זה באמצעות שימוש בשיטות מתקדמות, כפי שאפרט בהמשך. חברת McKinsey יחד עם ארגון TUI הציגו מדד מתקדם יותר CADE<sup>6</sup> המשכלל לא רק את היבטי התשתית אלא גם את היעילות של משאבי ה IT, נצילותם ויעילותם האנרגטית.

## 4. משמעות השימוש בתקנים

השימוש בתקנים ובהמלצות של הארגונים הנ"ל, בעיקר במדרגים הגבוהים, מביא להקמה של מתקנים איכותיים אך יש לו נגזרת כלכליות משמעותית.



מימוש מתקן בתצורה על פי התקן מחייב כפילות מלאה הן של מערכות הכוללות גיבוי פנימי (N+1) והן של מסלולי ההזנה.

משמעותה הכלכלית כבדה ביותר, מעבר לעלות מבנה של כ-2350\$ למ"ר נוספת עלות של 22,000\$ לכל KW במוצא האל פסק.

ניקח לדוגמה מתקן מחשבים בשטח של 500 מ"ר נטו (שטח רצפה צפה). שטחו ברוטו יהיה כ-1000 מ"ר ועלות המבנה תהיה 2.35 מיליון\$. צריכת ההספק למ"ר אולם מחשב במתקן מסוג זה יכולה להגיע ל-1.5 KW לכל מ"ר ובסה"כ לצריכה של 750 KW. עלות מתקן האנרגיה ב-TIER IV תהיה 16.5 מיליון\$. העלות הכוללת של התשתיות תהיה 18.8 מיליון\$ או 37,700\$ לכל מ"ר של אולם מחשב.

מעבר לעלות ההקמה, קיימות במתקן כזה עלויות תפעול משמעותיות. מעבר לאחזקה של המתקן ותשתיותיו עלות האנרגיה הופכת להיות מרכיב משמעותי. במתקן במדרג גבוה, בו יש כפילות מערכות, העומס המרבי על כל מערכת הינו פחות מ-50% מה שהופך אותו לבלתי יעיל אנרגטית. נוסף על כך היות ורוב המתקנים מתוכננים לעומס עתידי שיכול להכפיל את עצמו לעומת התצורה במועד ההפעלה, תצורתם הראשונית הופכת אותם לבזבזניים עוד יותר שכן העומס על המערכות מגיע לרבע מהעומס המלא.

היות והתקנים משמשים ככלי לאישור מתקנים ותכנונם לצרכי ביטוח, בקרת תכנון או בדיקות קבלה (commissioning) הפרשנות להם הפכה להיות סוגיה מורכבת. מחד הארגונים מעוניינים בפרשנות שתבטיח דומיננטיות של התקן שלהם, מאידך פרשנות פשטנית של התקן הופכת את הפתרון לבלתי כלכלי. מתקנים מורכבים מתאפיינים בהספק גבוה ואז לא ניתן להסתפק במערכת אחת מכל סוג (גנרטור, אל פסק, מקרר וכד') או שנדרש לפצל מסלולים בשל העומס על מסלול בודד שעולה על מספר מגה ואטים. במקרים אלה הפתרון משכפל את עצמו והופך להיות מורכב ובזבזני.

<sup>6</sup> CORPORATE AVERAGE DATA EFFICIENCY

## 5. תרחישי התייעלות

המודעות לעלות הכוללת של הקמת מתקן מחשב ותפעולו מחייבת, יחד עם הבטחת זמינותו, שאיפה להקמה של מתקנים ביעילות מרבית. התקנים וההמלצות מטרם להבטיח זמינות. ניתן לשמור על המלצות אלה ויחד עם זה לתכנן ולהקים מתקנים ביעילות משופרת. המינוף העיקרי להתייעלות מתחיל במודעות. נראה כי המודעות קיימת כיום הן בקרת גורמי המחשוב והן בקרב אנשי התשתית. בתחום התשתיות ישנן מספר מגמות ומספר כלים באמצעותם ניתן לשפר משמעותית את נצילותו של מתקן המחשבים. חלק מהפתרונות שיוצגו להלן, מבוססים על ניתוח מקרה של תכנון מתקן מחשבים גדול עבור צה"ל. דו"ח ה EPA חילק את הפתרונות התשתיתיים לשלוש מדרגות:

- התייעלות תפעולית – בעיקר שיפור זרימת האוויר במתקן המחשבים, סידור הציוד במסדרונות חמים וקרים וסגירת מרווחים בתוך מסדים וביניהם.
- פתרונות מיטביים<sup>7</sup> - שימוש במערכות יעילות יותר, קירור חפשי ושינוי נקודת עבודה.
- חדשנות<sup>8</sup> - מימוש המתקנים בקונפיגורציה מורכבת, קירור ישיר במים ושילוב בין חום וכוח.

במקביל להמלצות בנוגע לתשתיות קיימות המלצות גם להתייעלות בנושאי IT. ההמלצות משתלבות במגמות הקיימות והמשמעותיות של התייעלות בתחום זה, החל מציוד בו התפוקה לכל KW נצרך גבוהה יותר וכלה במגמות של וירטואליזציה, מחשוב ענני וקונסולידציה של משאבי מחשוב.

### 5.1 מערכות מיזוג אוויר

רוב ציוד המחשבים כיום מבוסס על קירור אוויר. בתחום זה ניתן להתייעל בכמה אפשרויות: בראש ובראשונה יש לוודא כי מיישמים את כל ההמלצות המובנות מאליהם של התייעלות תפעולית, או כפי שהנושא כונה באחד המאמרים<sup>xvi</sup> כקטיפת הפירות התלויים נמוך. זאת ניתן להשיג בקלות באמצעות סידור נכון של מסדים במסדרונות חמים וקרים וסגירת מרווחים ביניהם ובתוכם. היבט פשוט נוסף נוגע לשינוי נקודת העבודה. נקודת העבודה של הציוד קובעת באיזו טמפרטורה יפעלו מערכות הקירור. ASHRAE שינה את נקודת העבודה לציוד<sup>xvii</sup>.

נקודת עבודה ישנה	נקודת עבודה עדכנית (2008)	
20-25°C	18-27°C	טמפרטורה
55%	60%	לחות יחסית מרבית

לשינוי נקודת העבודה משמעות על הצריכה הישירה של אנרגיה. עליה בכל מעלה בטמפרטורת המים במוצא הצ'ילר חוסכת כ 3% בצריכת האנרגיה שלו.

חוסכון מצטבר	חוסכון ב %	צריכת אנרגיה ב W לטון קירור	טמפרטורת המים במוצא הצ'ילר [°C]
		369	7.2
6%	6%	346	8.3
13%	7%	321	9.4
18%	6%	301	10.6
22%	5%	287	11.7
25%	4%	275	12.8

מעבר לחסכון בשינוי נקודת העבודה ניתן לקרר את ציוד המחשבים בקירור שהינו קירור ישיר ככל הניתן. מסדים מקוררי מים מסחררים את האוויר בין רדיאטור מקורר מים לבין השרתים או ציוד

<sup>7</sup> BEST PRACTICE

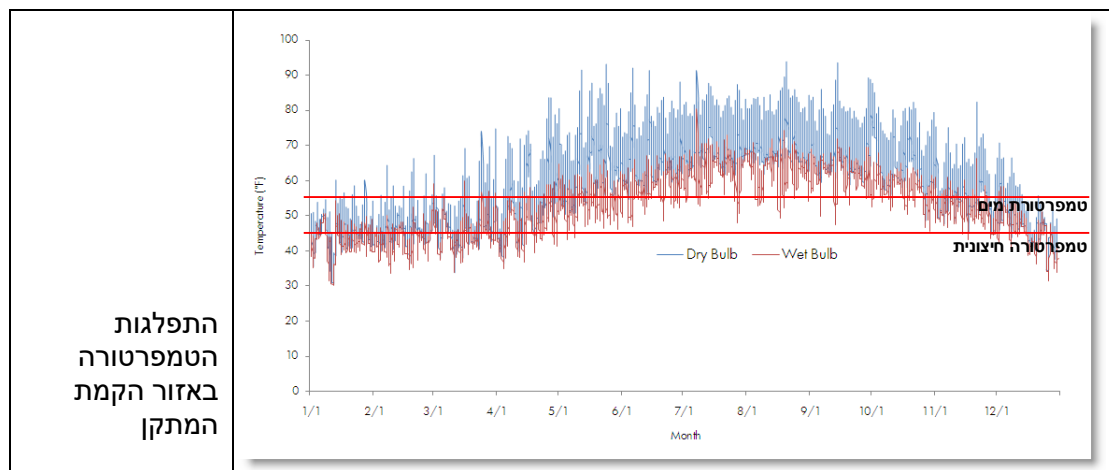
<sup>8</sup> STATE OF THE ART

התקשורת בתוך מסד סגור או בסביבה הקרובה. במצב זה ניתן להשתמש במים בטמפרטורה שיכולה להגיע אף ל  $15^{\circ}\text{C}$  בשונה ממי הקירור של יחידות הטיפול באוויר שהינם בסביבת  $7^{\circ}\text{C}$ . עבודה בטמפרטורה זו יכולה לחסוך עשרות אחוזים בצריכת החשמל של מערכת הקירור.

על מנת לאפשר עבודה בטמפרטורה גבוהה יש צורך להקים שתי מערכות צנרת נפרדות, אחת לקירור האויר באמצעות יט"א והשנייה לקירור מסדים. היות ובמתקן במדרג III ו IV נדרשים שני נתיבי הזנה ניתן להשתמש באחד מהם לקירור בטמפרטורה גבוהה והשני לקירור בטמפרטורה נמוכה. במקרה של תקלה וצרך לעבור לנתיב חלופי מערכת הבקרה מורידה את טמפרטורת העבודה בשני הנתיבים לטמפרטורה הנמוכה.

לעבודה בטמפרטורה גבוהה של  $10-15^{\circ}\text{C}$  יתרון נוסף. אפילו בתנאי מזג האוויר בארץ ניתן להתחיל לשקול שימוש בקירור חפשי. כאשר הטמפרטורה החיצונית נמוכה ב  $5^{\circ}\text{C}$  מטמפרטורת מי הקירור אין צורך להפעיל את המדחסים וניתן לקרר את המים באמצעות שימוש במגדלי קירור בלבד. לצורך כך נדרשים מגדלי קירור בהספק גבוה יותר והתקנה של מחליפי חום במקביל לצ'ילרים. גם כאן ניצלנו את היתירות הקיימת במגדלי קירור במדרג הגבוה לצורך שימוש בשגרה.

מניתוח תנאי הסביבה באזור בו מתוכנן לקום המתקן עולה כי ניתן להשתמש בקירור חופשי במשך כ 2000 שעות בשנה (כ 25% מהזמן). החיסכון השנתי למתקן של כ 2000 טון קירור יכול להיות כ 100 אלף \$ לשנה.



התפלגות  
הטמפרטורה  
באזור הקמת  
המתקן

## 5.2 מערכת החשמל

הטופולוגיה המומלצת במדרג הגבוה כוללת שני מסלולי הזנה כשבכל אחד מהם מערכות אל פסק בהיקף של  $N + 1$  כך שבסה"כ במתקן קיימות  $N + 2$  מערכות אל פסק. לרובו המכריע של ציוד המחשבים כיום ישנן שתי הזנות כך שכל מסלול מזין באופן בלתי תלוי הזנה נפרדת של ציוד הקצה. יחד עם זאת אין שליטה על היקף הצריכה בכל אחד מהמסלולים והבחירה או החלוקה ביניהם מבוצעת בציוד עצמו ללא יכולת שליטה חיצונית.

מערכות אל פסק סטטיות, בתצורת ON LINE, דהיינו כאשר כל ההספק עובר שתי המרות מ AC ל DC ובחזרה, פועלות כיום בנצילות של 95% ומעלה. לעומתן קיימות מערכות הפועלות בתצורה חסכונית אך בהן ההספק עובר ישירות לצרכן (לעיתים דרך מסנן מסוג כלשהו). במערכות אלה הנצילות יכולה להגיע ל 99%. הפער בנצילות מפתה לעבור למערכות שאינן ON LINE אך מאידך קיים חשש לסמוך עליהן באופן מלא. גם כאן ניתן לנצל את הכפילות במערכות ובמסלולים ולהתקין או להפעיל חצי מתקן בתצורת ON LINE ואות מחציתו בתצורה חסכונית. בצורה זו ניתן לחסוך בקלות סדר גודל של 2% מההספק.

במידה ובוחרים כי באחד המסלולים יהיו מערכות ביעילות גבוהה באופן מובנה ניתן לשקול שימוש במערכות אל פסק במתח גבוה ו/או שימוש במערכות אל פסק בעלות זמן גיבוי קצר יותר.

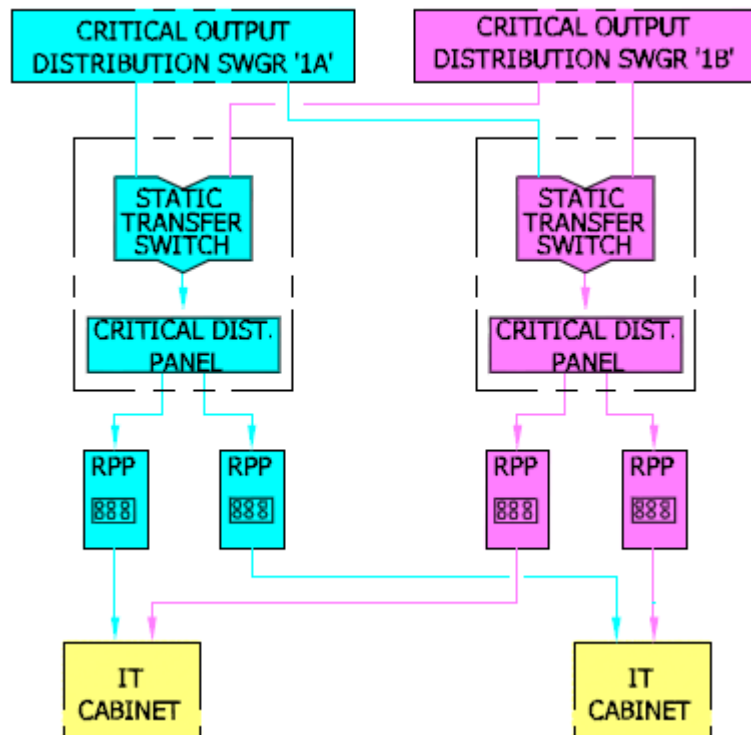
שיפור נוסף, המאפשר התקנה של שני מסלולים אחד הכולל מערכות ON LINE מערכות חסכוניות הינו שימוש במפסקים סטטיים. השימוש הנפוץ במפסקים אלה הינו לברירה מהירה בין שני מקורות



מסונכרנים המגבים זה את זה לצרכן בודד. במקרים אלה המפסק הסטטי מהווה נקודת כשל יחידה במערכת.

קונפיגורציה לשימוש במפסקים סטטיים:

- מוצא מערכות האל פסק מזין את הכניסות של המפסקים הסטטיים.
- כל מפסק סטטי מוזן משני המסלולים.
- מוצא המפסקים הסטטיים מזין לוחות חלוקה.
- כל צרכן מוזן מהמוצא של שני המפסקים הסטטיים



על פי תצורה זו:

- אף מפסק סטטי אינו מהווה נקודת כשל יחידה לצרכן.
- ניתן להגדיר עדיפות לאחד הצדדים ובצורה זו לוודא כי רוב ההספק הינו מהמסלול בו מתוקנת מערכת אל פסק חסכונית ואילו רק חלקו הקטן מוזן מהמערכת ON LINE וזאת על מנת להבטיח כי המערכת אינה פועלת בריקים.
- לתצורה זו יתרון נוסף גם אם משתמשים בו לצורך הבטחת חלוקת העומס בין שני המסלולים – היכולת לקבוע מאיזה מערכת מוזן כל אחד מהצרכנים מבטיחה כי שבמקרה של תקלה באחת מהן קפיצת העומס תהיה 50% לכל היותר.

### 5.3 אבטחת האמינות והזמינות

תכנון של מערכות מורכבת, השונות בתצורתן מהסכמה הפשטנית המופיעה בתקנים מחייבת בדיקות מעמיקות של התכנון. לצורך כך ניתן להשתמש בכלים לביצוע סקר אמינות. המתודולוגיה לביצוע חישובי אמינות מתבססת על ה- **IEEE Gold Book™**<sup>xviii</sup>. החישוב מתבסס על בניית מודל המדמה את המתקן המתוכנן תוך בדיקה כי אין בו נקודות כשל יחידות. לכל רכיב מוגדרת זמינותו באמצעות חישוב הזמן הממוצע בין תקלות<sup>9</sup> והזמן הממוצע לתיקון תקלה<sup>10</sup> אך יחד עם זאת מביאים בחשבון את קצב התקלות.

את החישוב של האמינות הכוללת מבצעים באמצעות תכנה המבצעת סימולציות על בסיס מודל אקראי. בעת ביצוע חישובים אלה יש להבחין בין הזמינות המוצגת בתקנים כדוגמת TUI המתבססת על נסיונם ושכלול של אמינות בפועל של מתקנים פעילים לבין החישוב התיאורטי. יחד עם זאת החישוב התיאורטי משמש ככלי לבחינת האמינות התכנונית.

<sup>9</sup> MTBF

<sup>10</sup> MTTR

## 6. סיכום

חשיבותן של מערכות המחשבים הביאה לרגולציה וסטנדרטיזציה שמטרתם להבטיח את חסינותן של המערכות וזמינותן. הקמת תשתיות במדרוג גבוה יחד עם גורמים משפיעים נוספים הביאו להאמרת עלות הקיום של משק המחשוב.

מימוש של תשתיות מתקני מחשב, בעיקר במתקנים מורכבים ובהספק גבוה מתאפשר גם בגישות השונות מהתצורה המופשטת של התקנים. גישה כזו, תוך אימוץ חדשנות וניצול היתירות המובנית במערכת לחסכון באנרגיה מאפשר להפחית במידה מסוימת את מודל הקיום. יחד עם זאת בעת אימוץ גישות חדשניות יש לוודא במקביל כי האמינות הכוללת של המערכת נשמרת.

מאמר זה מתבסס בחלקו על ניסיון שנצבר בעת תהליך התכנון של פרויקט הכולל מתקן מחשבים מורכב ומתקדם עבור צה"ל. השותפים העיקריים להליך התכנון של הפרויקט היו:

- תיאום הנדסי: צה"ל - מרכז הבינוי
- תיאום תכנון: פורן שרים הנדסה ושמות מקרקעין בע"מ
- אפיון: ארטנט בע"מ
- אדריכלות: סקורקא אדריכלים
- תכנון חשמל: יאני בע"מ - הנדסת חשמל
- תכנון מיזוג אוויר: ב. איצקוביץ - צ. טשר בע"מ
- בקרת תכנון: EYP - Mission Critical Facilities – ניו יורק

## מקורות:

- <sup>i</sup> Fanara Andrew , Federal Government Initiatives to Reduce Data Center Energy, United States Environmental Protection Agency, AFCOM 2007.
- <sup>ii</sup> Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency, U.S. Environmental Protection Agency, August 2007.  
[http://www.energystar.gov/ia/partners/prod\\_development/downloads/EPA\\_Datacenter\\_Report\\_Congress\\_Final1.pdf](http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/downloads/EPA_Datacenter_Report_Congress_Final1.pdf)
- <sup>iii</sup> McGee Ken, The 2010 Gartner Scenario: The Current State and Future Directions of the IT Industry, June 2010
- <sup>iv</sup> R. Kembel, InternetWeek, 4/3/2000: Cost of one hour of downtime based on a survey done by Contingency Planning Research.<http://www.datacenterknowledge.com/archives/2009/08/04/paypal-and-the-cost-of-downtime/>
- <sup>v</sup> Fanara Andrew, Federal Government Initiatives to Reduce Data Center Energy Use ,EPA ,AFCOM2007, based on the UPTIME INSTITUTE information.
- <sup>vi</sup> ASHRAE, Thermal guidelines for data processing environment, 2004
- <sup>vii</sup> The U.S. Energy Information Administration (EIA),  
[http://www.eia.doe.gov/cneaf/electricity/epm/table5\\_3.html](http://www.eia.doe.gov/cneaf/electricity/epm/table5_3.html)
- <sup>viii</sup> D&B - חברת החשמל -[http://www.iec.co.il/Static/WorkFolder/ComEnv/h.hashmal\\_pnim\\_h\\_print.pdf](http://www.iec.co.il/Static/WorkFolder/ComEnv/h.hashmal_pnim_h_print.pdf)
- <sup>ix</sup> Fanara Andrew, Federal Government Initiatives to Reduce Data Center Energy Use, EPA ,AFCOM 2007
- <sup>x</sup> Chuba Mike, Data Center Build Expansion Update, Gartner, 2009 U.S. Data Center Conference
- <sup>xi</sup> <http://uptimeinstitute.org/content/view/57/81/>
- <sup>xii</sup> Turner, Seader and Brill, Tier Classification Define Site Infrastructure Performance, The Uptime Institute, 2006.
- <sup>xiii</sup> <http://www.bruns-pak.com/Services/DataCenterReliabilityLevel/tabid/67/Default.aspx>
- <sup>xiv</sup> TIA/EIA-942 Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers, 2004
- <sup>xv</sup> BICSI 002-2010, Data Center Design and Implementation Best Practices
- <sup>xvi</sup> 7x24 Exchang, The end of the low hanging fruit, Christopher M. Johnston, Syska Hennessy Group, Newlink spring 2010, [http://www.syska.com/cms/docs/articles/7x24Newlink\\_johnston\\_spring10.pdf](http://www.syska.com/cms/docs/articles/7x24Newlink_johnston_spring10.pdf)
- <sup>xvii</sup> 2008 ASHRAE Environmental Guidelines for Datacom Equipment

