

# יעילות אנרגטית של שנאים - עדכוני תקינה ובחינת עלויות ההפסדים

שנאי חלוקה כמעט ואינם מושכים את תשומת הלב של אנשי התחזוקה במיתקנים. הם פועלים מדי יום ביומו, שנה אחר שנה, במהימנות וביעילות גבוהות למדי, אין בהם חלקים מסתובבים, ופעולתם פשוטה יחסית, ללא "דיופים" וכמעט ללא תקלות. אולם, כמו כל מערכת חשמלית, מתרחשים בהם איבודי אנרגיה לא מבוטלים. מאמר זה מציג בקצרה את עדכוני התקינה האחרונים בנוגע להפסדי האנרגיה המרביים המותרים בשנאים, ובוחן את עלויות ההפסדים עבור כמה חלופות ליישום של שנאים.

## נצילות השנאי

נצילות השנאי מבטאת באחוזים, והיא היחס בין הספק המוצא להספק המבוא של השנאי, אך היא אינה קבועה, אלא תלויה בשיעורי ההעמסה של השנאי, כמתואר בנוסחה דלהלן:

$$\eta = \frac{\beta \times S_n \times \cos \varphi}{\beta \times S_n \times \cos \varphi + \beta^2 \times P_l + P_o}$$

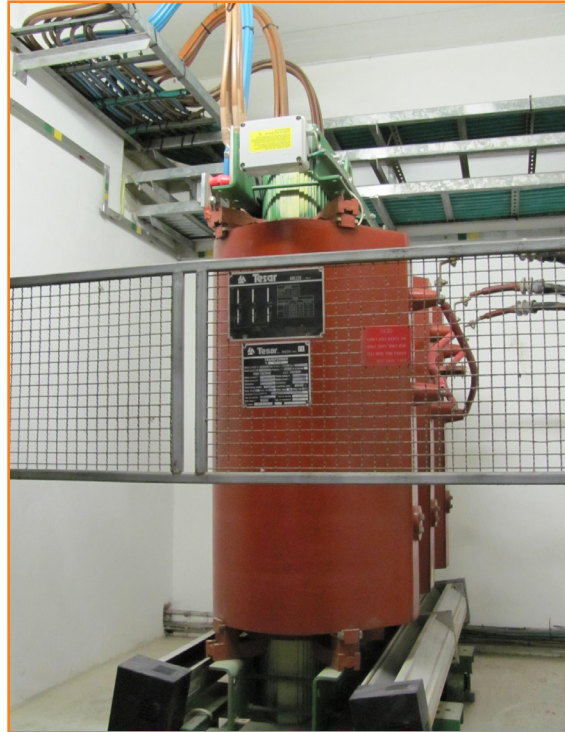
כאשר:

- $\beta$  - מבטא את שיעור ההעמסה (בשבר עשרוני)
- $S_n$  - ההספק הנקוב של השנאי (kVA)
- $\cos \varphi$  - מקדם ההספק
- $P_l$  - הפסדי עומס (kW)
- $P_o$  - הפסדי ריקם (kW)

ניתן להסיק, כי הנצילות המרבית מתקבלת כאשר  $\beta$  אופטימלית, כדלקמן:

$$\beta = \sqrt{\frac{P_o}{P_l}}$$

למעשה, כמתואר בגרף שבאיור 1, הנצילות המרבית של השנאי תהיה בנקודה שבה הפסדי



## הפסדי אנרגיה בשנאים

הפסדי האנרגיה בשנאים הם תוצר של הזרם החשמלי בסלילי השנאי, ושל השדה המגנטי הנוצר בליבת (גרעין) השנאי. ההפסדים שקשורים לסלילי השנאי נקראים הפסדי עומס, בשעה שההפסדים שנוצרים בליבת השנאי נקראים הפסדי ריקם.

## הפסדי ריקם

הפסדים אלו מתקבלים כתוצאה מתהליך מחזורי של שינוי השטף בגרעין השנאי, דהיינו: מיגנוט הגרעין בשנאי. נהוג לכנותם גם הפסדי ברזל. הם קבועים, ומתרחשים 24 שעות ביממה, 365 יום בשנה (כל עוד מחובר השנאי למתח), ללא קשר להעמסת השנאי, וגורמים לחימום של ליבת השנאי.

הפסדי הברזל נובעים משני תהליכים פיסיקליים, המתרחשים כאשר השטף משתנה בזמן ובכיוון (בכל חצי מחזור כמובן). האחד קשור לעניבת החשל (היסטרזיס), והפסדים

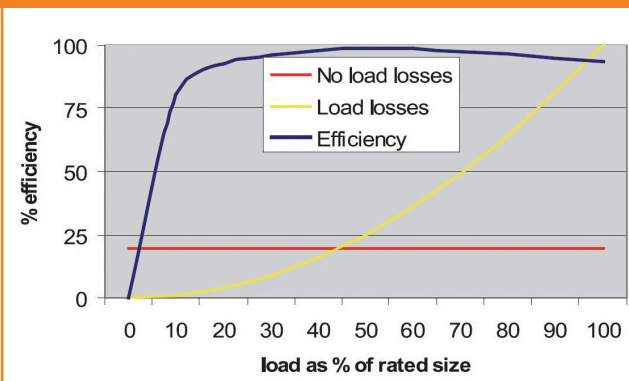
הנובעים מכך נקראים הפסדי חשל. הפסדים אלו ניתן להפחית באמצעות שימוש בחומרי גרעין בעלי הפסדים נמוכים. התהליך השני קשור לזרמים הפנימיים בתוך גרעין השנאי. זרמים אלו מושרים כתוצאה משינויי השטף, והם נקראים זרמי מערבולת. גרעין השנאי בנוי מפחיות ברזל דקות, וביניהן שכבת ציפוי דקה של חומר לבידוד חשמלי. כך, למעשה, מגדילים את התנגדות מסלולי הזרם בליבה, ומקטינים את הפסדים. ככל שמספר הפחיות גדול יותר וככל שהן דקות יותר, כך הפסדי זרמי המערבולת קטנים יותר. נציון, שהפסדי החשל מהווים כ-60%-80% מהפסדי הברזל.

## הפסדי עומס

שלא כמו בהפסדי הריקם אשר מופיעים כל הזמן, הפסדי העומס משתנים כתלות בשיעורי ההעמסה של השנאי (ביחס לריבוע הזרם), וכוללים הפסדי חימום אוהמי והפסדי זרמי מערבולת, המתרחשים בסלילים (ליפופים) בצידו הראשוני והשניוני של השנאי. הפסדים אלו נובעים מההתנגדות של הסלילים העשויים נחושת, ולכן נהוג לכנותם גם הפסדי נחושת. הפסדים אלו ניתן להפחית באמצעות הקטנת האורך של מוליכי הנחושת, או על-ידי הגדלת שטח החתך שלהם.

**הנצילות המרבית של השנאי תהיה בנקודה שבה הפסדי העומס שווים להפסדי הריקם, וזאת בשיעור העמסה שבין 40% ל-50%.**

איור 1: נצילות של שנאי חלוקה



מקור: Intelligent Energy: Europe Strategies for development and - (diffusion of Energy Efficient Distribution Transformers)

**טבלה 2: הפסדי העומס המרביים של שנאים טבולים בשמן (24 ק"ו) בהשוואה בין התקן הישן לתקן החדש**

שנאים טבולים בשמן - הפסדי עומס מרביים (ואט)				
תקן חדש (ת"י 1-50464)		תקן ישן (ת"י 5484)		הספק נקוב (קו"א)
Ak	Bk	דל הפסדים	סטנדרטי	
750	875	-	-	50
1,250	1,475	1,670	1,760	100
1,700	2,000	2,170	2,330	160
2,350	2,750	2,250	3,330	250
2,800	3,250	-	-	315
3,250	3,850	3,020	4,670	400
3,900	4,600	-	-	500
4,600	5,400	4,520	5,460	630
6,000	7,000	6,820	8,320	800
7,600	9,000	7,650	9,700	1,000
9,500	11,000	9,550	11,300	1,250
12,000	14,000	11,850	14,500	1,600
15,000	18,000	14,240	16,150	2,000
18,500	22,000	17,520	19,100	2,500

סטנדרטי לשנאי דל-הפסדים. דהיינו, מי שמעוניין בשנאי דל-הפסדים יידרש להזמין שנאי בעל רמות הפסדים A0, Ak.

בטבלה 1 מרוכזים לדוגמא ערכים של הפסדי ריקם של שנאים טבולים בשמן במתח מבוא 24 ק"ו (22 ק"ו בתקן הישן), תוך הבחנה בין רמות היעילות (סטנדרטי ודל-הפסדים כפי שמופיע בתקן הישן) ו-A0, B0, C0 (כפי שמופיע בתקן החדש).

בטבלה 2 מרוכזים לדוגמא ערכים של הפסדי העומס של שנאים טבולים בשמן במתח מבוא 24 ק"ו (22 ק"ו בתקן הישן), תוך הבחנה בין רמות היעילות (סטנדרטי ודל-הפסדים כפי שמופיע בתקן הישן) ו-Ak, Bk-1 (כפי שמופיע בתקן החדש).

בטבלה 3 מרוכזים לדוגמא ערכים של הפסדי ריקם של שנאים מטיפוס יבש במתח מבוא 24 ק"ו (22 ק"ו בתקן הישן), תוך הבחנה בין רמות היעילות (סטנדרטי ודל-הפסדים כפי שמופיע בתקן הישן) ו-A0, B0, C0 (כפי שמופיע בתקן החדש).

בטבלה 4 מרוכזים לדוגמא ערכים של הפסדי העומס של שנאים מטיפוס יבש במתח מבוא 24 ק"ו (22 ק"ו בתקן הישן), תוך הבחנה בין רמות היעילות (סטנדרטי ודל-הפסדים כפי שמופיע בתקן הישן) ו-Ak, Bk-1 (כפי שמופיע בתקן החדש).

מעיון בטבלאות ניתן להיווכח, שבתקנים החדשים מושם דגש בהפסדי הריקם, כך שהוחמרו הדרישות בנוגע להפסדים אלו בהשוואה לדרישות שמופיעות בתקן הישן. לעומת זאת, בכל האמור בהפסדי העומס, עבור חלק מהספקי השנאים אף הקלו בדרישות. היות שהפסדי הריקם הם קבועים, ללא כל תלות בהעמסה של השנאי, וכן היות שניתן לשער שרוב השנאים אינם מועמסים באופן מרבי (לרוב מתוכננת יתירות כלשהי, ובוחרים בשנאי גדול מהעומס המתוכנן), ניתן להבין את כוונת המתקננים להתמקד בהפסדי הריקם ולא בהפסדי העומס.

העומס שווים להפסדי הריקם, וזאת בשיעור העמסה שבין 40% ל-50%.

המשמעות היא, שבנקודת עבודה של נצילות מרבית ( $\beta$  אופטימלית), השנאי אינו מנוצל בהספקו הנומינלי. מנגד, במצב זה נשמרת יתירות גבוהה במיתקן. בהמשך המאמר נבחן את הכדאיות הכלכלית עבור חלופות שונות, לרבות שנאי סטנדרטי לעומת שנאי דל-הפסדים.

אמנם, שנאי חלוקה הם מכונות חשמל יעילות מאוד בעלות נצילות העולה על 97%, אך כלל לא כדאי להמעיט בערכם של איבודי האנרגיה שלהם, המתבטאים בעלויות לא מבוטלות למיתקן החשמל ולמשק בכלל.

**עדכונים בתקינה**

עד חודש אוגוסט 2013 חל התקן הישראלי ת"י 5484, "שנאי חלוקה - דרישות ליעילות אנרגטית ולסימון". תקן זה הגדיר דרישות, בדיקות וסימון לגבי יעילות אנרגטית של שנאי חלוקה, והוא חל על שנאים טבולים בשמן ועל שנאים עם בידוד שרף במתח מבוא עד 33 קילו-וולט, ובמתח מוצא 400 וולט, בהספקים נומינליים עד 2,500 קו"א.

בחודש אוגוסט 2013 הוחלף תקן זה בשני תקנים חדשים רשמיים:

- תקן ישראלי ת"י 50541 חלק 1, "שנאי חלוקה תלת-מופעיים מטיפוס יבש לתדר 50 הרץ, בעלי הספק מ-100 קו"א עד 3,150 קו"א, לשימוש עבור ציוד במתח שאינו גדול מ-36 ק"ו: יעילות אנרגטית וסימון". תקן זה הוא אימוץ של התקן האירופי EN50541-1 (אפריל 2011), עם שינויים ותוספות לאומיים.
  - תקן ישראלי ת"י 50464 חלק 1, "שנאי חלוקה תלת-מופעיים טבולים בשמן לתדר 50 הרץ, בעלי הספק מ-50 קו"א עד 2,500 קו"א, לשימוש עבור ציוד במתח שאינו גדול מ-36 ק"ו: יעילות אנרגטית וסימון". תקן זה הוא אימוץ של התקן האירופי EN50464-1 (אפריל 2007), עם שינויים ותוספות לאומיים.
- התקן הישן, ת"י 5484, הציג ערכי הפסדים מרביים (ריקם ועומס) תוך הבחנה בין שנאים בעלי יעילות אנרגטית נמוכה לשנאים בעלי יעילות אנרגטית גבוהה. לעומת זאת, בתקנים החדשים מוצגות שתי רמות של הפסדי עומס (Ak, Bk), ו-3 רמות של הפסדי ריקם (A0, B0, C0) - אך ללא כל הבחנה בין שנאי

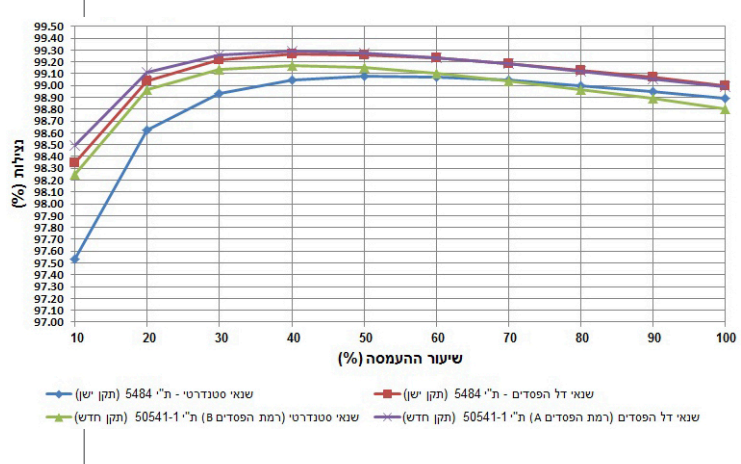
**טבלה 1: הפסדי הריקם המרביים של שנאים טבולים בשמן (24 ק"ו) בהשוואה בין התקן הישן לתקן החדש**

שנאים טבולים בשמן - הפסדי ריקם מרביים (ואט)					
תקן חדש (ת"י 1-50464)			תקן ישן (ת"י 5484)		הספק נקוב (קו"א)
A0	B0	C0	דל הפסדים	סטנדרטי	
90	110	125	-	-	50
145	180	210	190	230	100
210	260	300	260	300	160
300	360	425	380	450	250
360	440	520	-	-	315
430	520	610	550	650	400
510	610	720	-	-	500
600	730	860	690	900	630
650	800	930	790	1,180	800
770	940	1,100	930	1,300	1,000
950	1,150	1,350	1,100	1,500	1,250
1,200	1,450	1,700	1,320	1,800	1,600
1,450	1,800	2,100	1,700	2,150	2,000
1,750	2,150	2,500	2,000	2,540	2,500

## בחינת היבט הכלכלי ביישומי העמסה שונים וכן ביישום של שנאי דל-הפסדים

כפי שתואר לעיל, שיעור ההעמסה של השנאי משפיע על הפסדי העומס וכן על נצילות השנאי. אולם, סוגיית צריכת האנרגיה של השנאי אינה מוצבת תמיד בראש סדר העדיפויות של שיקולי התכנון של המיתקן, גם כתוצאה מהזנחת ערכי הפסדי האנרגיה של השנאי בהשוואה לסך כל הוצאות האנרגיה של המיתקן (הזנחה ברמת המיקרו שעלולה להשפיע על ההפסדים ברמת המאקרו - דהיינו, המשק הלאומי), וגם עקב היבטי תפעול

**איור 2: דוגמא - נצילות כתלות בהעמסה של שנאי מטיפוס יבש בהספק 1,250 קו"א**



שונים שמכתיבים השארת יתירות, הן לצורכי גידול והתפתחות עתידית של המיתקן והן לצורכי גיבוי שונים. הדבר מתבטא, לדוגמא, בבחירת שנאי שיעבוד בהעמסה חלקית, או בבחירת כמה שנאים למיתקן, שיעבדו בהעמסה חלקית ויזינו חלקים נפרדים של המיתקן, אך בעת כשל באחד מהם יוכל כל אחד מהם לגבות חלקים אחרים של המיתקן. קיימת גם חלופה של עבודה מקבילית של שנאים, אולם לה גם השפעה על היבטים חשמליים של המיתקן (כגון השפעה על ערכי זרמי הקצר המקסימליים הצפויים במיתקן, וכנגזרת מכך - השפעה על סוג הציוד הנדרש). לסיטואציה זו לא נתייחס במאמר זה.

**ניתן להיווכח שבתקנים החדשים מושם דגש בהפסדי הריקם, כך שהחמרו הדרישות בנוגע להפסדים אלו בהשוואה לדרישות שמופיעות בתקן הישן.**

למעשה, נשאלת השאלה, איזו חלופה יעילה יותר וכדאית יותר מההיבט האנרגטי, וכמובן, מההיבט הכלכלי. התשובה לכך אינה חד-משמעית, והיא תלויה רובה ככולה באופיין ההעמסה של המיתקן. מובן שאין לזלזל בצורך ביתירות, אך נוצר הרושם שלעיתים הפחד ממחסור ב"רזרבה" (שלא תמיד זקוקים לה) מכתוב יישום בזבזני יותר.

להלן כמה דוגמאות אשר בוחנות את עלויות ההפסדים של השנאי כתלות בחלופות שונות של העמסה ושל סוג השנאי. נציין, כי החישובים המוצגים בדוגמאות אלו אינם כוללים היוון של כלל העלויות ביחס למשך החיים של השנאי, והם נועדו לצורכי המחשת הנושא בלבד, כך שאינם יכולים לשמש כמקור לקבלת החלטה באשר ליישום חלופה זו או אחרת. את הפסדי האנרגיה בשנאי ניתן לחשב באמצעות הנוסחה הבאה:

$$\Delta P = (\beta^2 \times P_l \times h) + (P_0 \times 8760)$$

## טבלה 3: הפסדי הריקם המרביים של שנאים מטיפוס יבש (24 ק"ו) בהשוואה בין התקן הישן לתקן החדש

שנאים מטיפוס יבש - הפסדי ריקם מרביים (ואט)					
תקן חדש (ת"י 1-50541)			תקן ישן (ת"י 5484)		
A0	B0	C0	דל הפסדים	סטנדרטי	הספק נקוב (קו"א)
280	340	460	300	550	100
400	480	650	390	750	160
520	650	880	550	1,020	250
750	940	1,200	870	1,380	400
1,100	1,250	1,650	1,100	1,900	630
1,300	1,500	2,000	1,400	2,250	800
1,550	1,800	2,300	1,550	2,650	1,000
1,800	2,100	2,800	2,000	3,050	1,250
2,200	2,400	3,100	2,250	3,600	1,600
2,600	3,000	4,000	2,950	4,620	2,000
3,100	3,600	5,000	3,400	5,750	2,500
3,800	4,300	6,000	-	-	3,150

בניגוד לתקן הישן, שבו נדרש לסמן על גבי השנאי מהי נצילות השנאי תחת העמסה של 50%, בתקנים החדשים לא חלה דרישה זו. אולם, כאמור, ניתן לחשב את נצילות השנאי עבור שיעורי ההעמסה שונים.

בטבלה 5 ובאיור 2 מתוארות לדוגמא תוצאות חישוב הנצילות כתלות בשיעורי ההעמסה שונים (10% עד 100%), ובהשוואה בין 4 רמות הפסדים (סטנדרטי לפי התקן הישן, דל-הפסדים לפי התקן הישן, רמת הפסדים B לפי התקן החדש, רמת הפסדים A לפי התקן החדש), של שנאי מטיפוס יבש בהספק 1,250 קו"א. כמו כן מוצג בטבלה 5 גם שיעור ההעמסה האופטימלי לקבלת נצילות מרבית.

## טבלה 4: הפסדי העומס המרביים של שנאים מטיפוס יבש (24 ק"ו) בהשוואה בין התקן הישן לתקן החדש

שנאים מטיפוס יבש - הפסדי עומס מרביים (ואט)				
תקן חדש (ת"י 1-50541)		תקן ישן (ת"י 5484)		
Ak	Bk	דל הפסדים	סטנדרטי	הספק נקוב (קו"א)
1,800	2,050	1,700	1,700	100
2,600	2,900	2,300	2,300	160
3,400	3,800	3,000	3,300	250
4,500	5,500	4,700	4,800	400
7,100	7,600	6,300	6,930	630
8,000	9,400	7,500	7,800	800
9,000	11,000	8,700	9,100	1,000
11,000	13,000	10,600	11,000	1,250
13,000	16,000	13,000	13,500	1,600
16,000	18,000	12,500	14,500	2,000
19,000	23,000	14,000	17,000	2,500
22,000	28,000	-	-	3,150

**טבלה 5: נצילות כתלות בשיעור ההעמסה של שנאי מטיפוס יבש בהספק 1,250 קו"א (24 ק"ו)**

מקדם העמסה (אופטימלי (%))	נצילות כתלות בשיעור ההעמסה (%)										
	שיעור העמסה (%)										
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	
53	98.89	98.95	99.00	99.04	99.07	99.08	99.05	98.93	98.62	97.53	שנאי סטנדרטי - (תקן ישן)
43	99.00	99.07	99.13	99.18	99.23	99.26	99.27	99.22	99.04	98.34	שנאי דל הפסדים - (תקן ישן)
40	98.81	98.89	98.97	99.04	99.10	99.15	99.17	99.14	98.96	98.25	שנאי סטנדרטי (B) (תקן חדש)
40	98.99	99.06	99.12	99.18	99.24	99.28	99.29	99.26	99.11	98.49	שנאי דל הפסדים (A) (תקן חדש)

היא ההפרש בין עלות השנאי הסטנדרטי לבין זו של השנאי דל-ההפסדים. למעשה, תוצאות החישוב מצביעות על כדאיות כלכלית ביישום שנאי דל-הפסדים. כנ"ל, כאשר בוחנים החלפה יזומה של שנאי קיים בשנאי דל-הפסדים חדש (עבור תנאי ההעמסה שתוארו בדוגמא זו), עלות ההשקעה היא העלות המלאה של השנאי החדש (ולא ההפרש בין עלויות השנאים), בתוספת עלויות פירוקו של השנאי הקיים. במקרה זה, הכדאיות הכלכלית מוטלת בספק.

**דוגמא ב': השוואה בין ההפסדים של שני שנאים סטנדרטיים מטיפוס יבש בהספקים 1,250 קו"א ו-1,600 קו"א אשר מועמסים בשיעורים שונים**

לעיתים, כאשר אנו נתקלים במיתקנים שבהם השנאי מועמס באופן חלקי, באופן אינטואיטיבי אנו נוטים להסיק כי המערכת בזבזנית, והיה עדיף במיתקן שנאי בהספק נמוך יותר אך מועמס בשיעור גבוה יותר, על חשבון יתירות כמוכן. דוגמא זו מבקשת לבחון סוגיה זו, ומושווים בה שני שנאים מטיפוס יבש בהספק 1,250 קו"א ו-1,600 קו"א אשר מועמסים ב-80% ו-60%, בהתאמה. העמסת שנאי א' בהספק 1,250 קו"א היא כדלקמן: x=80%, y=20%, z=20%, ואילו העמסת שנאי ב': בהספק 1,600 קו"א x=60%, y=10%, z=10%.

בטבלה 7 מוצגות תוצאות חישוב ההפסדים הצפויים עבור כל אחד מהשנאים הללו. תוצאות החישוב מצביעות על כך שעבור סיטואציה זו, הבחירה בשנאי שהוא בעל ההספק הגבוה יותר אך מועמס בשיעורים נמוכים יותר מניבה חיסכון בהפסדים, ואף, כמוכן, יתירות גבוהה יותר במיתקן. יש להביא בחשבון שבתחשיב הכללי, עלות השנאי הגדול יותר גבוהה יותר, וייתכן שהיא משפיעה לרעה על כדאיותה של קונפיגורציה זו.

**דוגמא ג': מיתקן ובו שני שנאים מטיפוס יבש בהספק 1,250 קו"א כל אחד המועמסים ב-50%, בהשוואה למיתקן עם שנאי יחיד מטיפוס יבש בהספק 1,600 קו"א המועמס ב-80%**

בדוגמא זו נשווה בין מיתקן שמוזן משני שנאים (לא בעבודה מקבילית) המועמסים ב-50% ומזינים חלקים שונים של המיתקן, אך כל אחד מהם יכול לגבות את החלקים המוזנים מהשנאי השני, לבין מיתקן שמוזן משנאי יחיד בהספק גבוה יותר. כאמור, השנאי עובד בנצילות מרבית תחת העמסה של כ-50%. אולם, מעבר ליתירות הגבוהה שמקבלים במיתקן שמוזן משני שנאים, נשאלת השאלה, איזו קונפיגורציה יעילה יותר מההיבט האנרגטי. שני השנאים בהספק 1,250 קו"א מועמסים כדלקמן: x=50%, y=10%, z=20%. השנאי בהספק 1,600 קו"א מועמס כך: x=80%, y=20%, z=20%. בטבלה 8 מוצגות תוצאות חישוב ההפסדים הצפויים עבור כל אחת מהקונפיגורציות בהתאם לשיעורי ההעמסה הללו.

כאשר:

- $\beta$  - מבטא את שיעור ההעמסה (בשבר עשרוני)
- $P_l$  - הפסדי עומס (kW)
- $P_o$  - הפסדי ריקם (kW)
- $\Delta P$  - הפסדי האנרגיה של השנאי (kWh)
- $h$  - מספר שעות עבודה.

לצרכי החישוב נניח את ההנחות הבאות:

- עלות קוט"ש: 43 אגורות/קוט"ש (לפי ממוצע תעריף תעו"ז מ"ג, לא כולל מע"מ).
- משטר עבודה:
- X(%) = אחוז העמסה ב-14 שעות מהיממה במשך 250 יום.
- Y(%) = אחוז העמסה ב-10 שעות מהיממה במשך 250 יום.
- Z(%) = אחוז העמסה ב-24 שעות ביממה במשך שאר ימות השנה (115 יום).

לפיכך אם נציב בנוסחה את הפרמטרים של משטר העמסה

X, Y, Z במקום  $\beta$  נקבל:

$$\Delta P = [(x^2 \times P_l \times h1) + (y^2 \times P_l \times h2) + (z^2 \times P_l \times h3)] + (P_o \times 8760)$$

**דוגמא א': תכנון שנאי מטיפוס יבש בהספק 1,250 קו"א דל-הפסדים בהשוואה לשנאי סטנדרטי**

ניקח לדוגמא משטר עבודה של מבנה משרדים בעל אופיין העמסה כדלקמן: x=75%, y=20%, z=20%. בטבלה 6 מוצגות תוצאות חישוב ההפסדים הצפויים עבור כל אחד מהשנאים (סטנדרטי ודל-הפסדים) בהתאם לשיעורי ההעמסה הללו. עלות ההשקעה הראשונית המובאת בחישוב

**טבלה 6: חישוב ההפסדים הצפויים של שני שנאים מטיפוס יבש - סטנדרטי ודל-הפסדים בעלי הספק 1,250 קו"א**

שנאי דל-הפסדים	שנאי סטנדרטי	
1.8	2.8	הפסדי ריקם של השנאי (קוט"ש)
11	13	הפסדי עומס של השנאי (קוט"ש)
15,768	24,528	הפסדי ריקם שנתיים (קוט"ש)
23,970	28,329	הפסדי עומס שנתיים (קוט"ש)
<b>39,738</b>	<b>52,857</b>	<b>סה"כ הפסדים שנתיים (קוט"ש)</b>
	13,119	חיסכון שנתי ביישום שנאי דל-הפסדים (קוט"ש)
	5,641	חיסכון שנתי (ש)
	15,000	הפרש בעלויות בין השנאים (ש)
	2.6	זמן החזר השקעה פשוט (שנים)

בערכם של איבודי האנרגיה שלהם, המתבטאים בעלויות לא מבוטלות למיתקן החשמל ולמשק בכלל. השינויים האחרונים בתקינה מבטאים הלכה למעשה מגמה ברורה - הצורך בהקטנת הפסדי האנרגיה של השנאים, תוך התמקדות בהפסדי הריקם, שאינם תלויים בשיעורי ההעמסה של השנאים. יישום של שנאי חלוקה דלי-הפסדים ותכנון נכון מההיבט של העמסת השנאי והשפעתה על ההפסדים עשויים להניב חיסכון אנרגטי לא מבוטל, הן במיתקן עצמו והן במשק הלאומי.

**טבלה 7: חישוב ההפסדים הצפויים של שני שנאים מטיפוס יבש בהספקים 1,250 קו"א ו-1,600 קו"א אשר מועמסים בשיעורים שונים**

שנאי א' בהספק 1,250 קו"א (מועמס ב-80%)	שנאי ב' בהספק 1,600 קו"א (מועמס ב-60%)	
2.8	3.1	הפסדי ריקם של השנאי (קו"ט)
13	16	הפסדי עומס של השנאי (קו"ט)
24,528	27,156	הפסדי ריקם שנתיים (קוט"ש)
31,855	21,001	הפסדי עומס שנתיים (קוט"ש)
<b>56,383</b>	<b>48,157</b>	<b>סה"כ הפסדים שנתיים (קוט"ש)</b>

**טבלה 8: חישוב ההפסדים הצפויים של שני קונפיגורציות - מיתקן המוזן משני שנאים בהספק 1,250 קו"א כל אחד המועמסים ב-50% לעומת מיתקן המוזן משנאי יחיד בהספק 1,600 קו"א המועמס ב-80%**

הזנה משנאי יחיד 1,600 קו"א	הזנה משני שנאים, 1,250 קו"א כל אחד	
3.1	2*2.8	הפסדי ריקם של השנאי (רמת יעילות C) (קו"ט)
16	2*13	הפסדי עומס של השנאי (רמת יעילות B) (קו"ט)
27,156	49,056	הפסדי ריקם שנתיים (קוט"ש)
39,206	24,117	הפסדי עומס שנתיים (קוט"ש)
<b>66,362</b>	<b>73,173</b>	<b>סה"כ הפסדים שנתיים (קוט"ש)</b>
6,811		חיסכון אנרגטי שנתי בשימוש בשנאי יחיד (קוט"ש)
2,928		חיסכון כספי שנתי בשימוש בשנאי יחיד (ש"ח)

ניתן להבחין, שהפסדי הריקם של שני השנאים בהספק 1,250 קו"א מהווים גורם דומיננטי בסך כל ההפסדים, כך שהקונפיגורציה של שני השנאים המועמסים ב-50% בזבזנית יותר, דבר המתבטא בתוספת עלות של כ-3,000 ש"ח בשנה בהשוואה לקונפיגורציה השנייה. יתרה מזאת, יש להביא בחשבון גם את עלות ההשקעה הראשונית הגבוהה יותר במיתקן שבו מתוכננים שני שנאים, בהשוואה למיתקן עם שנאי יחיד.

חשוב לציין, שהדוגמאות שהוצגו לעיל הובאו במטרה לפתח ולקדם את סוגיית החיסכון האנרגטי של שנאים בקרב הקוראים, והן אינן מייצגות ואף לא ניתן להסיק מהן מסקנות גורפות, בוודאי ובוודאי כאשר משטרי ההעמסה של מיתקנים שונים זה מזה.

**סיכום**

שנאי חלוקה הם מכונות חשמל יעילות מאוד, בעלות נצילות העולה על 97%, אך כלל לא כדאי להמעיט