

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

$$\eta = \frac{\beta \times S_n \times \cos \varphi}{\beta \times S_n \times \cos \varphi + \beta^2 \times P_l + P_0}$$

כאשר:

- β – מבטא את שיעור ההעמסה (בשבר עשרוני)
- S_n – ההספק הנקוב של השנאי (kVA)
- $\cos \varphi$ – מקדם ההספק
- P_l – הפסדי עומס (kW)
- P_0 – הפסדי ריקם (kW)

ניתן להסיק, כי הנצילות המרבית מתקבלת כאשר β אופטימלית, כדלקמן:

$$\beta = \sqrt{\frac{P_0}{P_l}}$$

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



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

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: מיגנט 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.

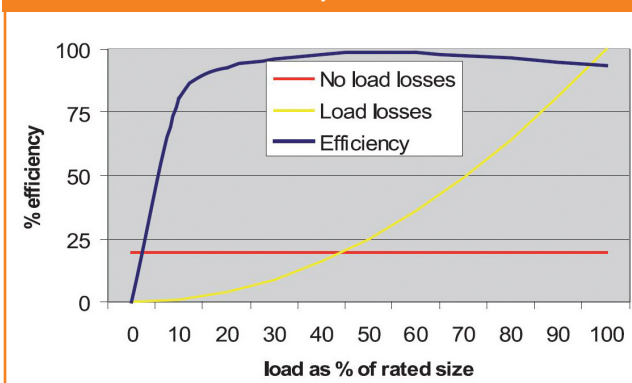
הפסדי הברזל נובעים משני תהליכים פיסיקליים, המתרחשים כאשר השטף משתנה בזמן ובכיוון (בכל חצי מחזור כמובן). האחד קשור לעניבת החשל (היסטרזיס), והפסדים

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 ההפסדים. 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.

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 50464-1)		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 (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 (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 המתקנים להתמקד בהפסדי הריקם ולא בהפסדי העומס.

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

המשמעות היא, שבנקודת עבודה של נצילות מרבית (β 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 להמעיס 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

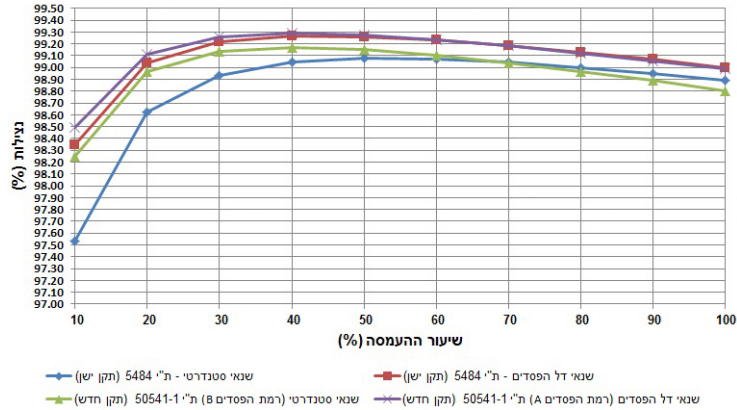
טבלה 1: הפסדי הריקם המרביים של שנאים טבולים בשמן (24 ק"ו) בהשוואה בין התקן הישן לתקן החדש

שנאים טבולים בשמן - הפסדי ריקם מרביים (ואט)					
תקן חדש (ת"י 50464-1)			תקן ישן (ת"י 5484)		
A0	B0	C0	דל הפסדים	סטנדרטי	הספק נקוב (קו"א)
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 ההיבט 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 הצידוד הנדרש). לסיטואציה זו לא נתייחס במאמר זה.

ניתן להיווכח שבתקנים החדשים מושם דגש בהפסדי הריקם, כך שהוחמרו 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 ישן (ת"י 5484)			תקן חדש (ת"י 50541-1)		
הספק נקוב (קו"א)	סטנדרטי	דל הפסדים	C0	B0	A0
100	550	300	460	340	280
160	750	390	650	480	400
250	1,020	550	880	650	520
400	1,380	870	1,200	940	750
630	1,900	1,100	1,650	1,250	1,100
800	2,250	1,400	2,000	1,500	1,300
1,000	2,650	1,550	2,300	1,800	1,550
1,250	3,050	2,000	2,800	2,100	1,800
1,600	3,600	2,250	3,100	2,400	2,200
2,000	4,620	2,950	4,000	3,000	2,600
2,500	5,750	3,400	5,000	3,600	3,100
3,150	-	-	6,000	4,300	3,800

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

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
43	99.00	99.07	99.13	99.18	99.23	99.26	99.27	99.22	99.04	98.34
40	98.81	98.89	98.97	99.04	99.10	99.15	99.17	99.14	98.96	98.25
40	98.99	99.06	99.12	99.18	99.24	99.28	99.29	99.26	99.11	98.49

היא ההפרש בין עלות השנאי הסטנדרטי לבין זו של השנאי דל-ההפסדים. למעשה, תוצאות החישוב מצביעות על כדאיות כלכלית ביישום שנאי דל-הפסדים.

מנגד, 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: 20% $x=80\%$, $y=20\%$, $z=$ 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: $x=50\%$, $y=10\%$, $z=10\%$. 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:

β - מבטא את שיעור ההעמסה (בשבר עשרוני)
 P_l - הפסדי עומס (kW)
 P_o - הפסדי ריקם (kW)
 ΔP - 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 תע"מ 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 β נקבל:

$$\Delta P = [(x^2 \times P_l \times h_1) + (y^2 \times P_l \times h_2) + (z^2 \times P_l \times h_3)] + (P_o \times 8760)$$

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)
39,738	52,857	סה"כ הפסדים שנתיים (קוט"ש)
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 מבטולות 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 מבטול, 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)
56,383	48,157	סה"כ הפסדים שנתיים (קוט"ש)

טבלה 8: חישוב ההפסדים הצפויים של שתי 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)
66,362	73,173	סה"כ הפסדים שנתיים (קוט"ש)
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