

# ניהול ויעול צורכית החשמל

## במערכות הנעה - חלק שני

מערכות הנעה חשמליות (מנועים) צורכות כ- 50% מכך צורכת החשמל בארץ ומעל ל- 60% מצריכת החשמל בתעשייה. באווירה התחרותית הקשה השוררת בעסקים בשולם, הצלחת החברות תלולה בהפקחת העליות של מרכיבי הייצור, וביניהן הוצאות האנרגיה, אשר מהותן כיום מרכיב ממשוני בעלויות הייצור עקב נסיקה במחירים הדלקים לאחרונה. מחירים אלו צפויים להמשך ולעלות בקצב מהיר יותר מכל מרכיב אחר, ולפיכך, ניהול ויעול של צורכת האנרגיה בכלל, והחשמל בפרט, הם המפתח להורדת העליות, מה גם שהדבר הכרוך בהשכלות סביבתיות לא מבוטלות.

וסתי מהירות אלקטומכניים משמשים לשתי פתרות בסיסיות: בקרה מדיקט, של תהליכי הייצור, ויסות מהירות פיתקון ההנעה על-פי התפקיד הנדרשת.

ישום ווסתי מהירות מכונותentralפוגליות, וכחן דוכם המשאבות ומספריים ומדחסים פסיפיים, פביא לחיסכון עצום בצריכת החשמל, ועודות לכך לצריכת האנרגיה שלחן ייחסית לתפקידו בחזקה שלישית

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}; \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{N_1^3}{N_2^3} = \frac{Q_1^3}{Q_2^3}$$

כאשר:

$Q$ : תפקוד המכונה.

$N$ : מהירות הסיבוב של המכונה.

$P$ : הספק מכני הנדרש על-ידי המכונה.

לדוגמה, ירידת של 20% בתפקיד/זריטה של משאבה או מפוח centralפוגלי מחייבת להפחית צורכת החשמל בשיעור של כ- 50%, וכשיש צורך בפחיתת התפקיד/זריטה, ניתן לחסוך עד כדי שבע שניות (למעלה מ- 5%) של האנרגיה.

בכליון קודם דל "פאזה אחרת" פורסם חלקו הראשון של מאפר זה, ובו סקירה כללית של המרכיבים השונים של מערכות הנעה ויפורט השלכות הכלכלי-כלכליות של השימוש במגוונים חדשים, אשר מהווים את "לב" המערכות. חלק זה של המאמר פשלים את חלקו הראשון, ומוכאים בו בפיתוחים מרכיבים עיקריים אחרים של מערכות הנעה מחדים הטכני-כלכלי, ובראשם ווסתי מהירות אלקטומכניים.

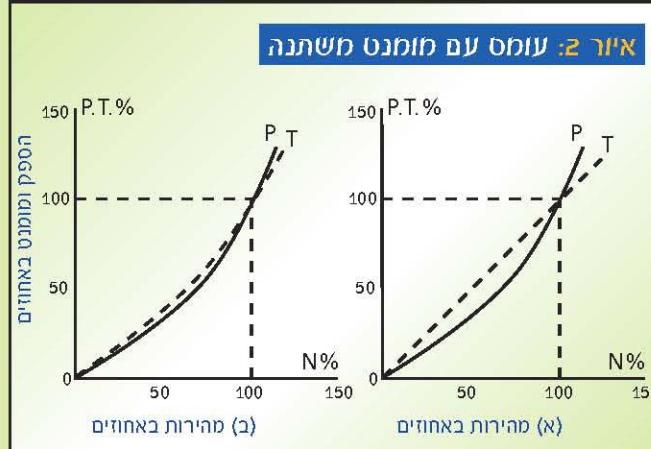
### ויסות מהירות

רוב פנווי הרשאה פעילים במחירות קבועה. עם זאת, חלק גדול מערכות ההנעה מצידות بواسת מהירות על-פי הצרכים של תהליכי הייצור והחובאות שבעצם.



משמעות קונבנציונליות לויסות זרימה מבוססת על התקני ויסות לא-יעילם, כמו ברזים או סגנונים אחרים שתפקידם להגדיל את התנדנותה הזרימה. התקנים אלה סגורים את פתח היציאה או הכניסה של האזור לשם קבלת תפקחה רציפה, כאשר מהירות המכונה נשמרת. על אף שעולותם הראשונות של התקנים אלה היא נמוכה, הרי הוצאות התפעול שליהם גבוהות מאוד וככלית סתקובלות על הדעת עקב ה指挥 והרכב של אנרגיה (מציאות אונרכטיות נמוכות) הכרוך בהפעלתם. שכינה אנרגטיות, ויסות צהה שקול לניגמה מכניות כאשר רgel את הרצף בקפיאות על דושת הנג'ע עד סוף, ואילו הרגיל השניה להזפת על דושת הכלם כדי לויסות את המהירות.

קיימות מספר טכנולוגיות משופרות לויסות זרימתה, כושוטי מהירות אלקטומכניים הם הדוטיננטים ביניהם. ווסתי מהירות אלקטומכניים הם התקנים מעולים לשימוש ועל פואט אפקטיב בחשמל במערכות הנעה, כאשר הם מותאמים למערכת ההנעה ופעולים בצורה נסונה. הם בעלי תועלת רכה במיוחד לויסות הזרימה (ה��ופוקה) של מזלים וגיזם. ההספק המכני החדש לסכנות centralפוגליות ובות כמו משאבות, מפוחים ומדחסים

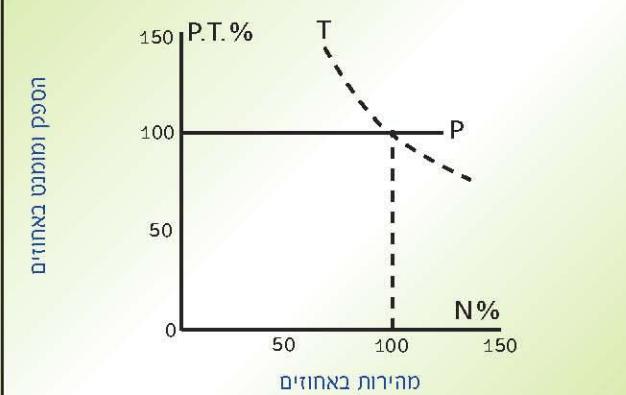


בישוםים אלה, על המטען לשפק מומנט התנע נגנו יחסית, בדרל פי 1.2 מהמומנט הנומינלי. כמו כן נציין, כי הפעלת המטען מעלה תדר/מהירות נומינלית כרוכה בהעמת יתר שלו ושל המכונה הפעלת על ידו, ולכן רצוי מאוד להימנע מכך.

### עומס עם הספק קבוע

זה מצב מיוחד שבו המכונת הנדרש על-ידי העומס משתנה ביחס הפוך ל מהירות, כמתואר באירור 3. דוגמא למקרה זה היא מכונה לילוף חוטים שמהירותה הזוויתית במהלך הליפוף צריכה להיות קטנה כאשר קוטר ערימת החוטים המלופפים גדול.

**איור 3: עומס עם הספק קבוע**



קיימות מעט מאוד מכונות בעלות אופני פועלות אשר מורכבים מצריך של האופנים הללו.

מהירות, ביישומים רבים, כשייכת הגבלה על תפקוק (יכולת - capability) המפוך או המשאבה, בחירה נאותה של וסת מהירות ומגע יכול להרחיב את הגבול התיכון והעליון של התפקוק גם יחד.

קיים יתרונות נוספים לוסתי מהירות: הם מחדים חץ בין המנועים לבין רשת אספקת החשמל. כתוצאה לכך פוחתים המאיצים הפעילים על המנועים וכן גורמים בלתי-רצויים אחרים שהם פועל יוצא ממשוני מתחם א-סימטריה של מתחם, ועיותם啻 בגלי הקתעה בראש. ביישומים מסוימים יכולות וסת מהירות להניע מספר מנועים יחד. לדוגמא, וסת מהירות אחד בהספק של W<sub>A</sub> 100 יכול לשמש להנעת שני מנועי השראה בעלי הספק של W<sub>A</sub> 50 כל אחד, באותה תדירות בדיק, ובכך לחסוך באופן משמעותי בעלות הרכשה.

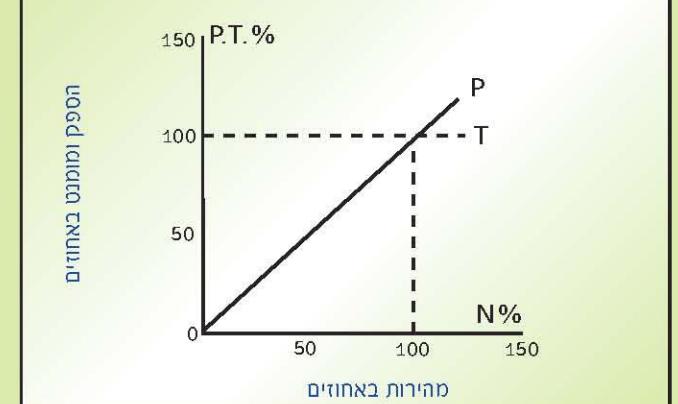
### עומסים מקובלים של מנועי חשמל

מנועים מיודדים לשוכב התקנים מכניים, כגון מסבות, מטועים, מפוחים ומושרים. התקנים אלה הם העומסים של המנועים. ניתן לsegue את עומסי המנועים לשולש קבועות עיקריות:

**עומס עם מומנט קבוע בכל תחומי המהירות**

ב敲音 עקרוני, העומסים כאלה נובעים מחיקוך ואו משינו, ובهم: מסועים, אקסטרודרים, מטוחנות ומכוונות לישת בעץ. בשיטות אלה, המנוע חייב להיות מסוגל לשפק מומנט התנע נגנו (פחות פי 1.5 מהמומנט הנומינלי) כדי להתגבר על החיקוך הסטטי (אנרכיה) ולהיאץ את המכונה. האיל וההספק הוא מכפלה של מומנט ב מהירות והמומנט של העומס נשאר קבוע, הרי שההספק עולה עם המהירות באופן פרופורציונלי, כמתואר באירור 1.

**איור 4: עומס עם מומנט קבוע**



### עומס עם מומנט משתנה ביחס ל מהירות

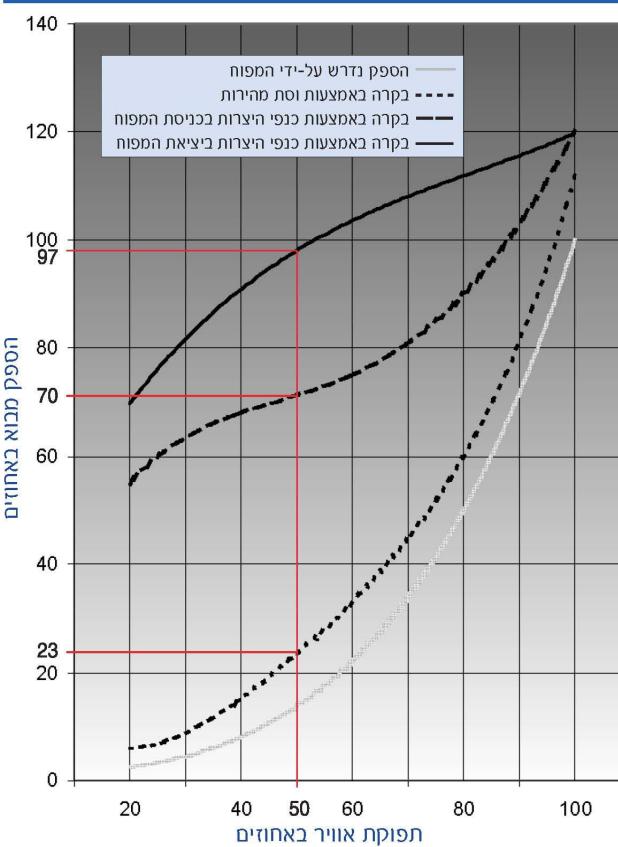
בסוג זה של עומסים קיימות שתי אפשרויות:

- המומנט משתנה ביחס ISR ל מהירות וההספק ביחס לריבוע המהירות (ה��ופוקה), כמתואר באירור 2 א'; לדוגמה, מכונת בורג' (מכונה ספירלית) לשינוי חומרם.
  - המומנט משתנה ביחס לריבוע המהירות, וההספק משתנה ביחס לחזקת שלישית של מהירות (הפקה), כמתואר באירור 2 ב'; לדוגמה, מכונות צנטריפוגליות - מסבות, מאורירים ומפוחים. לפיכך, במקרים מסוימים צנטריפוגלים נדרש הספק בשיעור של 50% מההספק המקורי, כאשר התפקוק יודד ב-20% מערקה המקורי בלבד.
- עומסים עם מומנט משתנה הם הנפוצים ביותר במכשור וה תעשיית, ומנועי ההנעה שלהם צריכים בקירוב 60% מכלל צריכת החשמל של מגזרים אלה ייחד.

משבות ומפוחים, אשר מבקרים בעדרת וסת מהירות, מגיבים לתפקוק משתנות באופן ייחודי יותר מאשר מושתומים/ברזים ודמפרים (dampers). עובדה זו נconaה במיוחד בתחומים קיצוניים של הזרימה, שבהם השסתומים הופכים להיות מאד לא ליניאריים, אף כאשר הם מצוידים בהתקן לשיפור הליניאריות.

במקרים שבהם ההספק משתנה ביחס לחזקה שלישית של המהירות, כמו במשבות ובמפוחים צנטריפוגליים, שימוש בוסת מהירות לבקרת זרימה מביא לחיסכון רב באנרגיה בהשווה לבקרת זרימה בעדרת מצערת (throttle), זאת ועוד. וסת מהירות יכולם להעלות את המהירות של מנועי הרשאה מעבר לערך הקקוב שלהם, בתנאי שהמצב המכני של הרוטור מאפשר זאת, לאור זאת, וכפועל יוצא מכח, קיים פוטנציאל להרחבת תחום הפעולה המועיל של מಡחים, משבות ומפוחים באמצעות וסת

## איור 5: ההספק המושך בmph בMETHODS של בקרת תפוקה



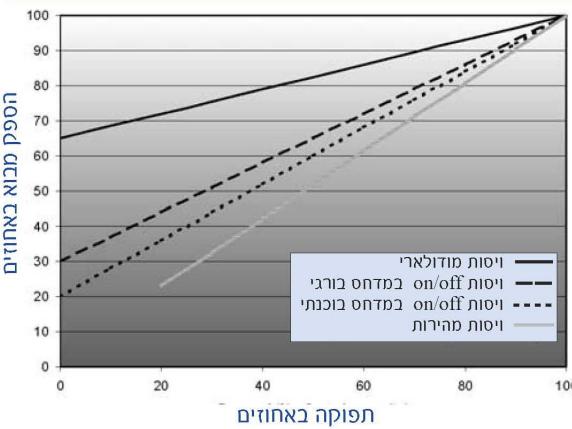
בשנה, כאשר מחיר החשמל 0.5 ש"ח לקילוואט שעה, ניתן לחסוך בערך וסת מהירות עד כדי 150,000 ש"ח בשנה בהוצאות החשמל. בעומסים כאלה, הרגישות של צריכת החשמל למחרות היא כה גבוהה, עד שהמשתמש יכול להשיג חיסכון רב אפילו בשינוי מהירות קטנים.

### מדחסים

מדחסים בורגיים ובוכנתיים הם באופן עקרוני עומסים עם מומנט קבוע, והם גם יכולים ליהנות מיתרונות של בקרת ויסות מהירות.

באיור 7 מתואර שיעור החיסכון באנרגיה כתוצאה משימוש בווסת מהירות במקום שיטות בקרה אחרות. לדוגמה, מדחס עם ויסות מודולרי, כאשר

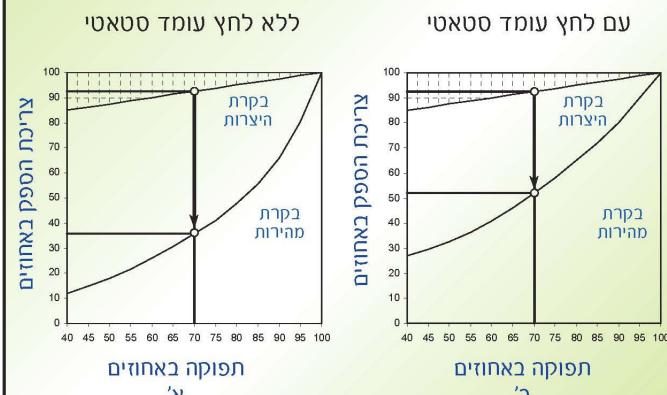
## איור 7: תיאור החיסכון בחשמל כתוצאה מיישום וסת מהירות



## משאבות

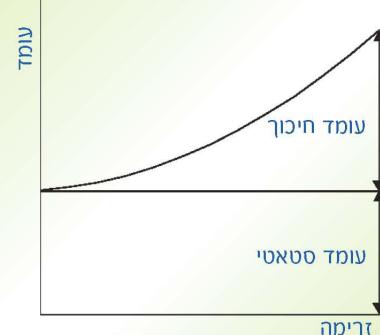
ההספק הנוצר במשאבותentrifugalיות ללא יינקה בוואקים הוא יחסית מהירות בחזקת שלישית כמזהה באיור 4. אם המשמש במשאבות מעוניין להוריד את תפוקתו, הוא יכול להשתמש בברז, או בקרת היצרות (control) באמצעות שסתום או ברז, או אף שתי השיטות יכולות באמצעות וסת מהירות אלקטטרוני. על אף שתיהן השיטות יכולות לענות בדרישות, קיימים הבדלים משמעותיים מאוד בצריכת האנרגיה ביניהן, בקרת מהירות צורכת הרבה פחות אנרגיה. במקרה שקיים עומס/לחץ סטטי, המשאבה צריכה להתגבר עליו.

## איור 4: צריכת הספק של משאבהentrifugalית בברז



מצין, כי במערכות שאיבה כאלה, בנוסף לאנרגיה הדורשה לעומד סטטי (להעלאת הנוזל בניגוד לכוח המשיכה – גראביטציה), יש צורך באנרגיה מכנית כדי להתגבר על חיכוך הצנרת, כמוואר באירור 5.

## איור 5: הפסדי חיכוך ועומד סטטי



## mph

בקרט מהירות של mph, במקומות שימוש שיטות היצרות (throttling methods) המסורתית, יכולה להביא לחיסכון משמעותי בצריכת החשמל. איור 6 מתראר היטב את פוטנציאלי החיסכון.

לפי איור, עבור תפוקה בשיעור של 50% מהתפוקה הונומינלית, בקרת אמצעות וסת מהירות חוסכת קרובה ל-76% אנרגיה בהשוואה לבקרה באמצעות כנפי היצרות בכניסה המפות. לדוגמה, אם ההספק של מנוע המפות הוא W<sub>A100</sub> והתפוקה היא 50% כאמור קבוע, הרי שבמהלך 6,000 שעות פעולה

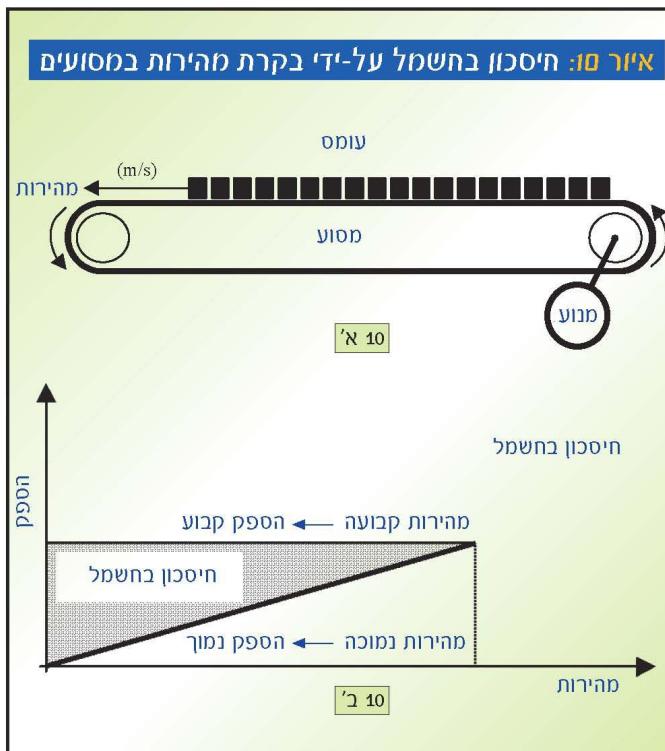
מערכת קונבנציונלית, (~80% חיסכון) שבה מושנים את מספר הקטבים של המנוע לוויסות המירות. שימוש במנועים עם מגנט קבוע וצימוד ישיר (לא גיר) מקטין עוד יותר את צריכת החשמל, וגם משפר את ביצועי המעלית.

יש לציין, כי ניתן להשתמש בויסות מהירות רגנרטיביים גם בעומסים בעלי אינרציה גבוהה, כמו מכונות כלים, ו/או עומסים בעלי מהירות גבוהה כמו מכונות צנטריפוגליות, אשר מואצים או נבלמים באופן תדרי, ובכך לחסוך בכמויות גדולות של אנרגיה. במקרים אלה, אנרגיית הבלתי הקיינית של המכונה מומרת לאנרגיה חשמלית ומוחזרת לרשת.

### מסועים

קיים מיתקני הנעה שבhem המכוננט כמעט קבוע, המכוננט תלוי בחיכוך בלבד, וכמעט אינו תלוי בעומס. דוגמא למיתקנים כאלה היא מסועים אופקיים כמתואר באIOR 01א.

בדרכְ כל, במסועים נשמרת מהירות קבועה, וויסות כמויות הסחורה המועברות על פני המסוע נעשית באמצעות העמסה, במبدأ המסע, באמצעות ויסות כמויות הסחורה המועמסות עליו. הואיל וההספק הוא מכפלה של מכוננט במירות, הרי שאם קיימת אפשרות להקטין את המהירות, למשל על-ידי שינוי כמויות החומר המועמס על המסע, ההספק יקטן באופן ייחודי בהתאם המהירות, ובכך ניתן לחסוך כמויות אנרגיה משמעותיות כמתואר באIOR 01ב'.

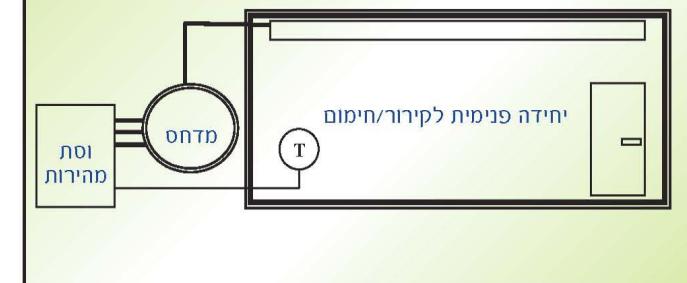


התפקה היא 50% מהתפקה המקורי, השימוש בוסת מהירות מביא לחיסכון בשיעור של 35%. החיסכון בחשמל בעומס בעל מומנט קבוע קטן באופן משמעותי משמעתי ביחס לעומסים שבhem ההספק משתנה ביחס לחזקה שלישית של מהירות, כלומר, מכונות צנטריפוגליות. לפיכך, שימוש בויסות מהירותים ממדחסים הוא פחות כלכלי, מה גם שיש להבטיח שילם שלהם במהירותים נמוכים.

מחיר של מדחסborgי בשילוב עם ווסת מהירות זול באופן משמעותי ממחיר של יחידות נפרדות - מדחס לחוד ווסת לחוד. לאור זאת, ראוי לבחון את השימוש במדחסים ככל הישגים החדשים, כאשר שנות הפעולה שלהם ארוכות והתקפה משתנה בתחום רחב. נציין, כי ניתן להשיג חיסכון נוסף באנרגיה על-ידי הפחיתת הלוחץ הממוצע של המדחסים.

דוגמה נוספת לשימוש בוסת מהירות היא במדחסים למטרות מיזוג אויר, כמתואר באIOR 08. יישום זה מביא לביטול מחזוריות של הפעלה והפסקה (on/off cycling) של המיתקן, חסוך באנרגיה, ומשפר את יציבות הטמפרטורה.

**איור 8: ויסות מהירות של מדחס למטרת מיזוג אויר**



### מעליות

וסת מהירות אלקטרוניים ורגנרטיביים מאפשרים להחזיר את אנרגיית המהירות של המנועים לשירות אספקת החשמל. ניטול טכניקה זו במערכות הנעה שבhem הבלתי הקיינית תדרי, כמו במעליות, מאפשר לחסוך אנרגיה רבה, בתנאי שההסתורת המכנית של המכונה מאפשרת זאת. מיסיבות טכנו-כלכליות, המשקל הנגדי של המעלית שווה למשקל התא בתוספת 40% משקל האנדים או המטען בתא. כאשר המעלית יורדת והמשקל בתא המעלית גבוה מהמטען והוא בכיוון הפוך של המהירות, וכך המטען עולה ללא עומס (לא מטען בתא). במקרה אלה, שימוש בוסת מהירותים גורם לחיסכון רב באנרגיה.

באיור 9 מתוארות חלופות שונות של מיתקני הנעה במעליות, וצריכת האנרגיה הממוצעת שלהם באחוודים. שימוש בוסת מהירות רגנרטיבי יחד עם גיר מיוחד (special gear) מקטין את צריכת החשמל ל-20% מזו של

**איור 9: AMAZON האנרגיה הממוצעת במעליות (באחוודים) בטכנולוגיות הפעלה שונות**

