

נצילות גבוהה במנועים חשמליים ומתקנים מוכללים עידכונים וחידושים



מרצה
אהרון גרוס

אהרון גרוס
יותר יעילות יותר אמינות
במנועים חשמליים

חשיבות החיסכון באנרגיה

1. איכות הסביבה

☐ חסכון בדלק מניעת זיהום אויר

☐ הסכמים בין לאומיים

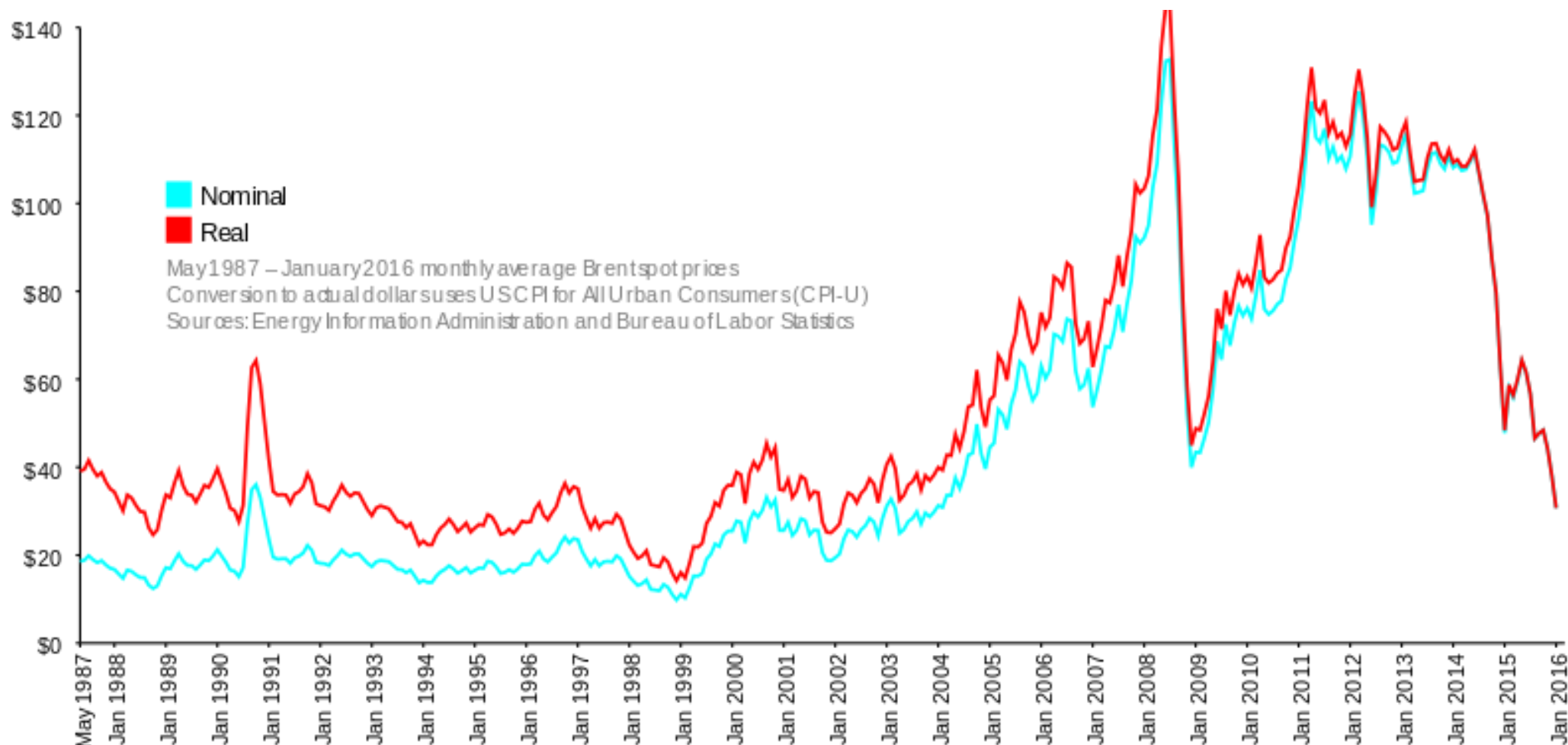
☐ הקטנת הנזק לכדור הארץ

☐ הקטנת אתרים מזהמים

2. כלכלית - חיסכון והתייעלות



מחירי האנרגיה בשנים 1987 עד 2016

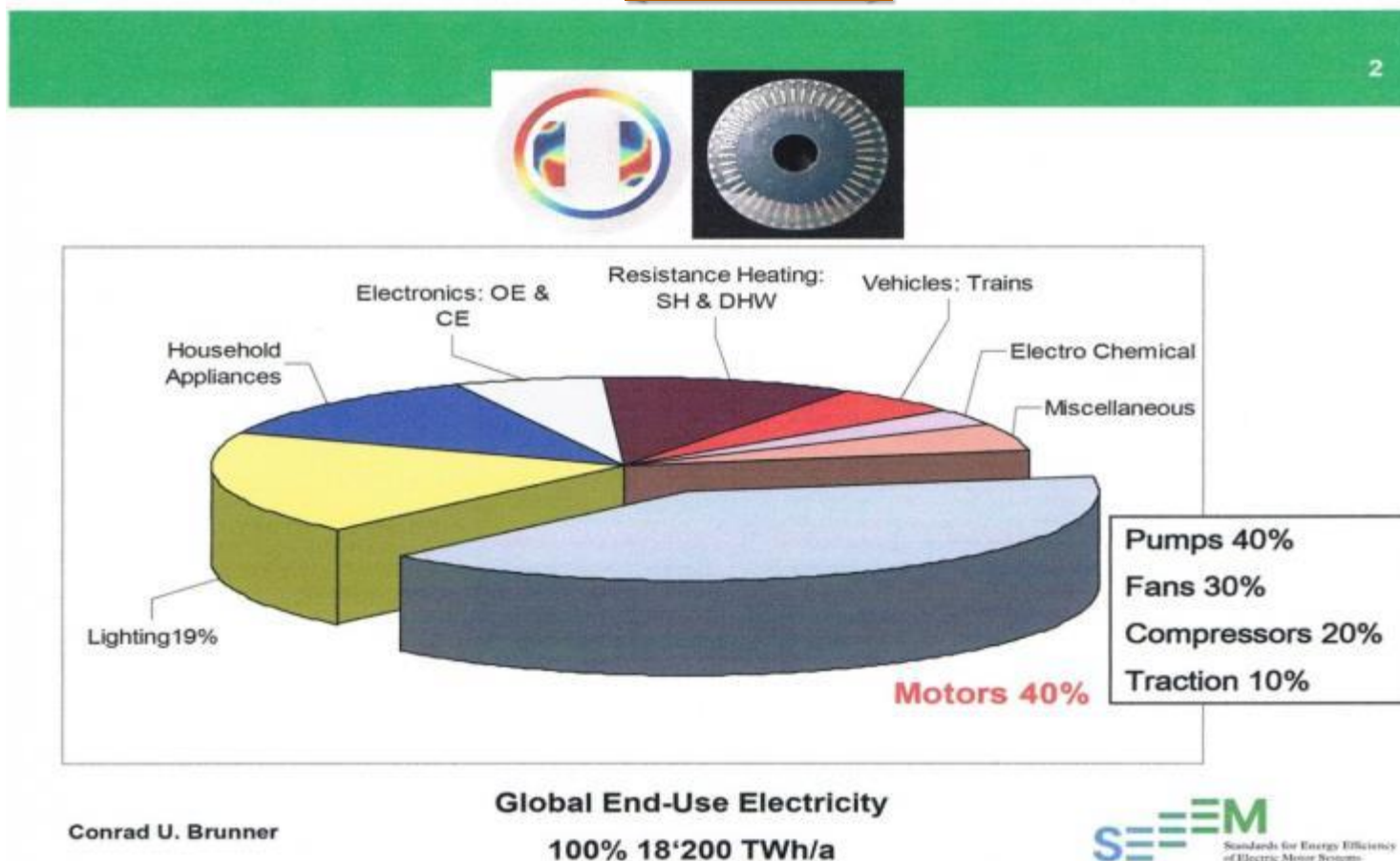


מחירי האנרגיה בשנים 1952 עד 2000



צרכני האנרגיה החשמלית בתעשייה

Standards for Energy Efficiency of Electric Motors (SEEEM)



היסטוריה ורקע

- ❖ בשנת 1992 לראשונה בעולם, קבעה רשות האנרגיה של ארה"ב EPAct (Energy Policy Act, 1992) דרגת נצילות מינימלית למנועים חשמליים בהספקים מ- 0.75 קילו-וואט ועד 150 קילו-וואט. במהירויות: 3600 סל"ד, 1800 סל"ד ו- 1200 סל"ד (60 Hz).
- ❖ בשנת 1997 ההוראה של ה- EPAct הופכת למחייבת.
- ❖ דרישות הנצילות של EPAct הופכות לחלק מהתקן האמריקאי למנועי חשמל NEMA MG-1.
- התקן מגדיר נצילות מינימליות למנועים בהספקים עד 375kW עם 2, 4, 6 ו-8 קטבים.
- בתקן נוספה דרגת נצילות גבוהה יותר **Premium Efficiency**.

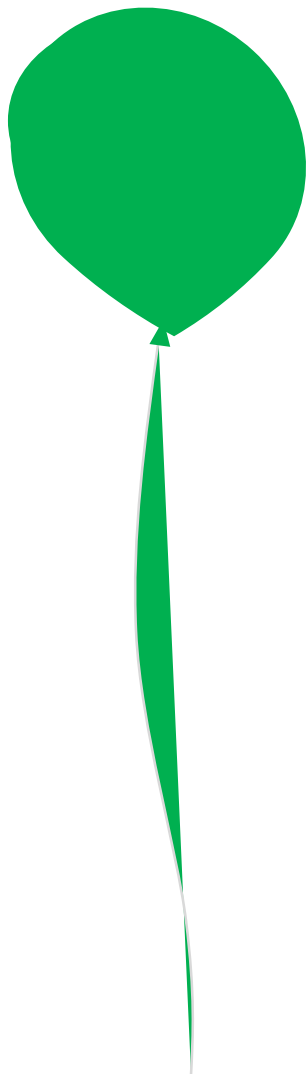
היסטוריה ורקע

- ❖ **אוסטרליה וניו זילנד:** באוקטובר 2001 אימצו מדינות של דרישה ליעילות מינימלית Minimum Energy Performance (MEPS) הדרישה חלה על מנועים תלת פאזיים בהספקים $0.73 \div 185 \text{ kW}$ במהירות אחת.
לא נכללו מנועי טבולים, מנועים משולבים בממסרות וכו', מנועים עם משני תדר, מהירות משתנה ומנועים לשירות קצר (S2) וכו'.
- ❖ **סין** ב-2002 פירסמה תקן המגדיר דרישה לנצילות מינימלית התקן עודכן ב-2006 בהתאם להסכם האירופאי של CEMEP-EU הוגדרו רמות נצילות Grade 1, Grade 1,2,3 - הנצילות הגבוהה.
בשנת 2007 נקבע שאין לייצר או למכור מנועים בדרגת נצילות נמוכה מ - Grade 3 (מקביל ל - IE1).
בשנת 2011 הועלתה הדרישה לדרגת נצילות מינימלית לדרגה IE2.

תקן ישראלי SI5289

"נצילות אנרגייה מינימלית של מנועי השראה חשמליים
אסינכרוניים תלת מופעיים כלוביים"

- התקן תפרסם לראשונה באפריל 2006.
- הוכן לפי תקן אוסטרלי ניו זילנדי AS/NZS 1359.52004.
- מגדיר שתי דרגות נצילות: Eff 2 – נצילות "סטנדרטית",
Eff 1 נצילות "גבוהה".
- מתייחס למנועים חד מהירותיים במתח עד 1000 Volt.
- הספקים: 0.75 kW עד 185 kW.
- מהירויות סיבוב: 3000, 1500, 1000, 750 RPM
(2, 4, 6, 8 קטבים).
- שירות: רציף – S1, S3 – מקוטע (80% שירות ומעלה).



תקן ישראלי SI5289

- חישוב הנצילות בדרך: Summation of losses.
בהתאם ל - סעיף 9.2 בתקן IEC60034-2
- מתייחס לנצילות בעומס מלא ו - 75 % עומס.
- משרד המסחר והתעשייה הגדיר אותו כתקן "רשמי" (מחייב).
המשמעות: "...אין למכור ו/או לרכוש..." מנועים שהנצילות המינימלית שלהם היא פחות מהנדרשת בתקן.
- אומץ בשתי "פעימות":
פעימה ראשונה: עד 31 דצמבר 2007 - שלב "התארגנות והכנות".
פעימה שניה: החל ב: 1 ינואר 2008 -
- הנצילות המינימלית המחייבת-לפחות: Eff 1.

תקן ישראלי SI5289

התקן לא חל על המנועים הבאים:

- מנועים טבולים.
- מנועים המהווים חלק בלתי נפרד מיחידת הינע.
- מנועים לפינוי עשן.
- מנועים לעבודה במחזורים קצרים, עמיסה S2 כמוגדר בת"י 298 "מנועים אסינכרוניים כלוביים".
- מנועים שלופפו מחדש.
- מנועים עם אוורור מאולץ.
- מנועים מוגני התפוצצות.
- מנועים למשאבות אנכיות עם לחץ צירי חיצוני.

תקן IEC60034-30

- פורסם באוקטובר 2008.
- מתייחס למנועים בהספקים 0.75 kW עד 375 kW.
- תלת פאזיים, במהירות אחת, בהתנעה ישירה לרשת.
- מתח עבודה סינוסואידלי עד 1000 Volt.
- למנועים שבהם מספר הקטבים: $2P=2, 4, 6$
- מקדם השירות: S1 או S3 - כאשר מקדם השירות גדול מ- 80 %.
- חישוב הנצילות לפי תקן IEC60034-2-1
- (-התקן פורסם בספטמבר 2007 מחליף את IEC60034-2).

תקן IEC60034-30

דרגות הנצילות שנקבעו בתקן:

- IE1 - נצילות סטנדרטית - (STANDARD).
- IE2 - נצילות גבוהה - (HIGH).
- IE3 - נצילות פרימיום - (PREMIUM).
- IE4 - נצילות סופר פרימיום - (SUPER PREMIUM).

בתקן הוגדרו בטבלאות הנצילות המינימליות למנועים

בדרגת נצילות IE1, IE2, IE3, בתדרים 50Hz, 60Hz.

הערה: לא הוגדרו הנצילות לדרגת נצילות IE4 !

החלת הדרישה לנצילות מינימלית של מנועים לפי ת"י 60034-30 בישראל

✓ במאי 2012 אומץ התקן כתקן ישראלי ת"י 60034-30.

✓ תקן SI5298 - בוטל

✓ בנוסף אומצו:

- תקן IEC60034-1 קבל מספר: ת"י 60034-1

- תקן IEC60034-2-1 קבל מספר: ת"י 60034-2

התקן הוגדר כתקן "רשמי"!
לוח הזמנים להחלתו בהתאם ללוח הזמנים בגוש האירופאי.

חישוב הנצילות בשיטת Summation of losses

הרכיבים של ההפסדים במנוע:

P_{cu1} - חישוב הפסדי נחשת בסטטור.

P_{fe} - מדידת הפסדי ברזל.

P_{mech} - מדידת הפסדים מכניים:

כולל הפסדי אוורור והפסדי חיכוך.

P_{cu2} - הפסדי נחשת ברוטור לפי ההחלקה:

דורש בדיקת התחממות בעומס נקוב.

או במתח מונמך לפי: IEC 61986.

P_{LL} - הפסדים נוספים 0.5% לפי IEC60034-2

מ-2007 לפי: IEC60034-2-1

חישוב הנצילות לפי IEC60034-2-1 לעומת IEC60034-2

IEC60034-30 קובע שאת הנצילות יש לחשב לפי תקן IEC60034-2-1.
התקן שמחליף את IEC60034-2.

השינוי המשמעותי בין התקנים הוא: אופן חישוב
ההפסדים הנוספים.

• הפסדים נוספים ב: IEC60034-2 0.5% מהספק הכניסה
לכל ההספקים!

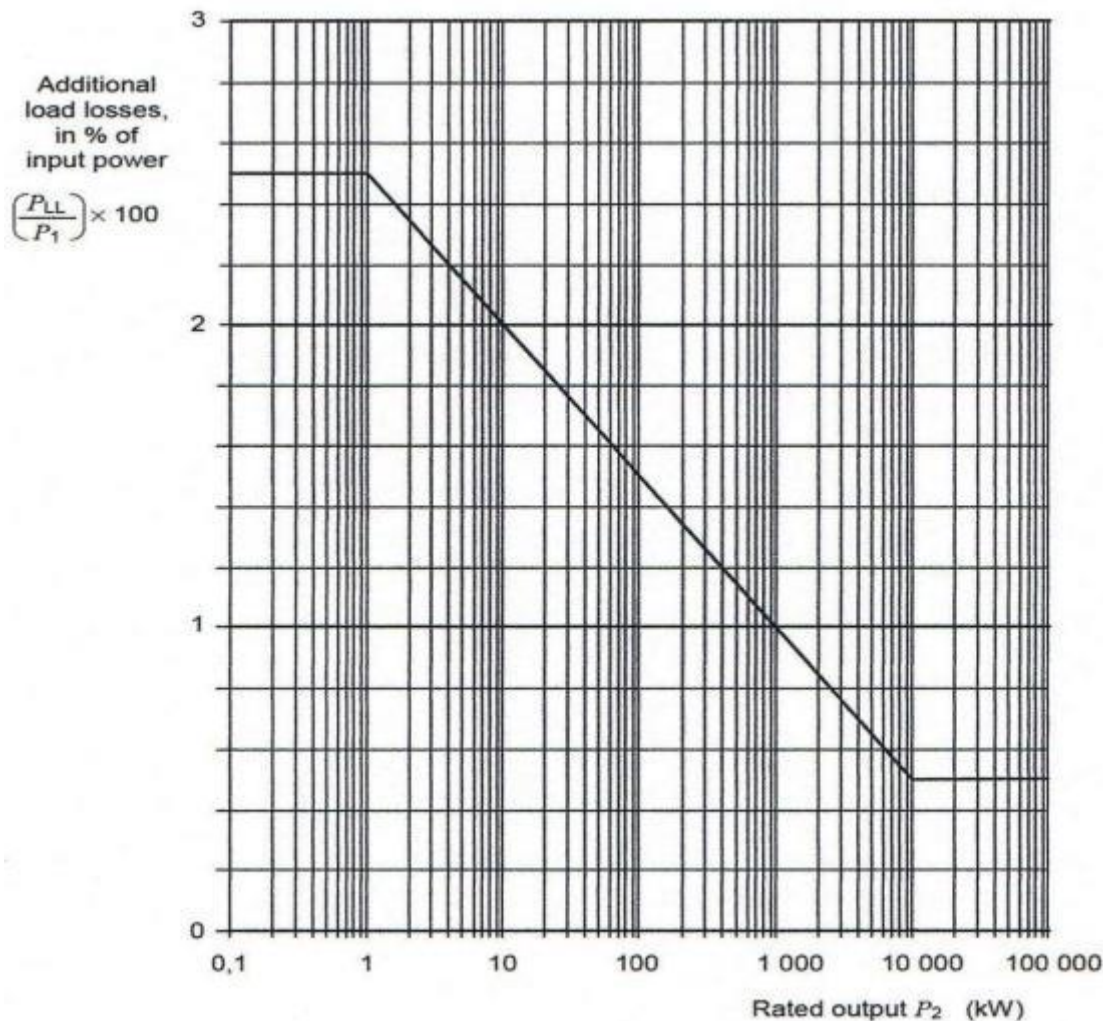
• הפסדים נוספים ב: IEC60034-2-1

2.5% למנועים בהספק עד 1 KW

2.5% ÷ 0.5% בהספקים: 1KW ועד 10,000KW

0.5% למנועים בהספק גדול מ: 10,000KW

הפסדים נוספים ב: IEC60034-2-1



2.5% - למנועים בהספקים

עד 1 kW

2.5% ÷ 0.5% - למנועים בהספקים

1kW עד 10,000kW

0.5% - למנועים בהספק

גדול מ: 10,000kW

חישוב ההפסדים הנוספים בתקנים שונים - באחוזים מהספק הכניסה

1. השוואת ההפסדים הנוספים מחושבים בתקן IEC לעומת IEEE

IEEE 112	IEC60034-2-1	IEC60034-2	kW
1.8%	2.5%	0.5	1.1
1.8%	2%	0.5	11
1.5%	1.5%	0.5	110
1.2%	1.35 ÷ 1.0	0.5	200÷1000

2. הפסדים נוספים מחושבים על פי תקן IEEE 112 / NEMA MG-1

P _{LL}	kW
1.8%	1-90
1.5%	91-375
1.2%	376-1850
0.9%	1851 ויותר

חישוב ההפסדים הנוספים אצל יצרנים שונים למנוע בהספק 1000 kW

IEEE 112	IEC60034-2-1			
1.2 %	1.0 %	0.675 %	0.5 %	0.5 %

הערות:

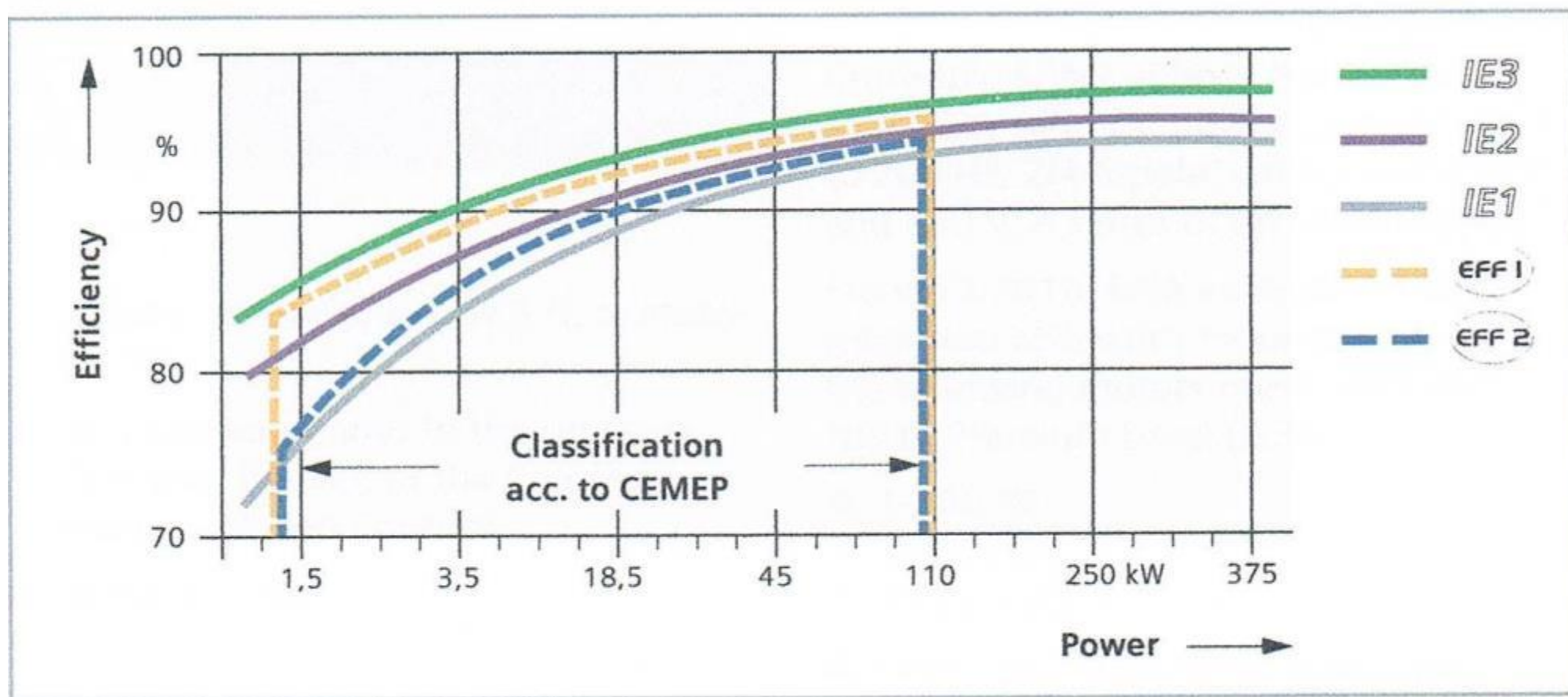
האפידות של הנצילות היא: 10 % מסך ההפסדים.
המנועים לצרכנים שונים בישראל בשלוש השנים האחרונות.

הנצילות המצופה למנוע בהספק 1000 kW היא 97.0 %
האפידות היא: 0.3 %

השוואה הנצילות בין תקן SI5298 לתקן IEC60034-30

2P=8		2p=6		2p=4		2p=2		
IE2	Eff 1	IE2	Eff 1	IE2	Eff 1	IE2	Eff 1	הספק kW
-	76.3	78.1	79.9	81.4	83.8	79.6	82.2	1.1
-	85.8	86.0	87.4	87.7	89.2	87.0	88.5	5.5
-	87.2	87.2	88.5	88.7	90.1	88.1	89.5	7.5
-	88.8	88.7	89.8	89.8	91.0	89.4	90.6	11
-	93.7	93.1	93.9	93.5	94.2	93.2	94.0	55
-	94.4	93.7	94.4	94.0	94.7	93.8	94.6	75
-	95.1	94.3	95.1	94.5	95.3	94.3	95.1	110
-	95.7	95.0	95.6	95.1	95.7	95.0	95.5	200-375

דרגת הנצילות לפי IS5298 לעומת IEC60034 - 30



השוואה בין SI5289 לבין IEC60034-30

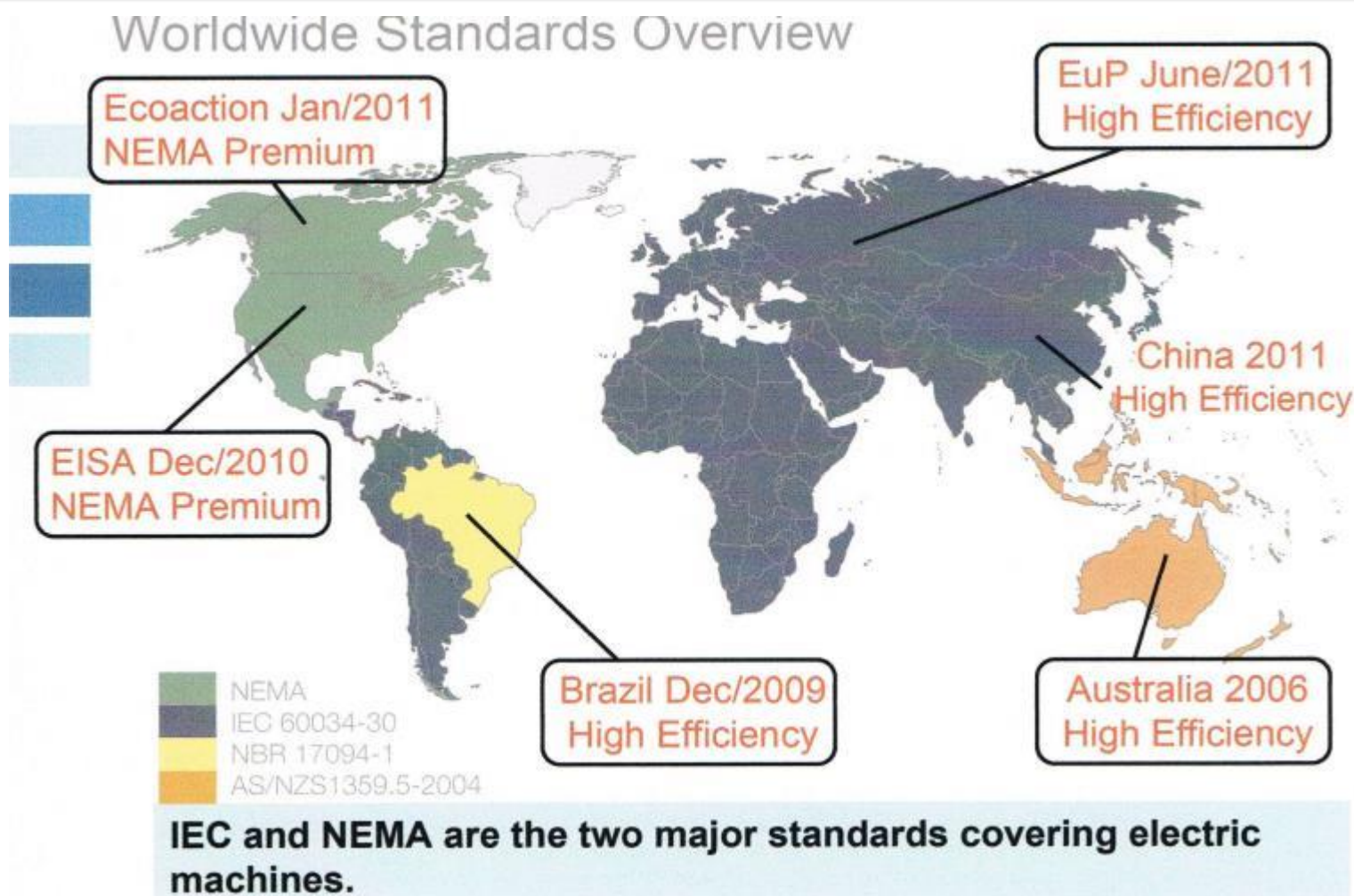
פרמטר	SI5289	IEC60034-30
הספק	0.75 up to 185 kW	0.75 up to 375 kW
קטבים	2, 4, 6, 8	2, 4, 6
מתח	up to 1000 Volt	up to 1000 Volt
סוג ההזנה	Line	Line
טמפרטורת סביבה	- 20 up to 40 ° C	- 20 up to 40 ° C
VFD	no	no
גובה מעל פני הים	up to 1000 m	up to 1000 m
מוגני התפוצצות	no	yes
מנועי עם ממסרות	no	yes
מנועים לפינוי עשן	no	no
מנועים מיוחדים	no	no

החלת הדרישה לנצילות מינימלית של מנועים בגוש האירופאי

from 16.06.2011	0.75 - 375 kW	IE2
from 01.01.2015	7.5 - 375 kW	IE3 or IE2 + VSD
from 01.01.2017	0.75 - 375 kW	IE3 or IE2 + VSD

לוח הזמנים הזה אומץ על ידי מכון התקנים הישראלי.
משרד התשתיות קבל את ההמלצה וזהו הנוהל המחייב!

אימוץ דרישות לנצילות מינימלית למנועים בעולם.



תקן IEC60034-30-1

- פורסם במרץ 2014.
- מתייחס למנועים בהספקים 0.12 kW עד 1000 kW.
- מתח עבודה: 50 Volt עד 1000 Volt.
- למנועים שבהם מספר הקטבים: $2P=2, 4, 6, 8$.
- דרישות הנצילות למנועים בדרגה IE4 מופיעות בתקן.
- חישוב הנצילות לפי תקן IEC60034-2-1

המנועים עליהם חל תקן IEC60034-30-1

- מנועים לטמפרטורת סביבה: 20°C עד 60°C .
- מנועים לפינוי עשן לטמפרטורה עד 400°C .
- מנועים לעבודה ברום של עד 4000 m מעל פני הים.
- מנועים עם מידות מכניות מיוחדות, אוגנים וצירים מיוחדים.
- מנועי גיר עם צירים ואוגנים במידות מיוחדות.
- מנועים עם קירור עצמי.
- מנועים מוגני התפוצצות.

המנועים עליהם חל תקן IEC60034-30-1

- מנועים לטמפרטורת סביבה: 20°C - עד 60°C .
- מנועים לפינוי עשן לטמפרטורה עד 400°C .
- מנועים לעבודה ברום של עד 4000 m מעל פני הים.
- מנועים עם מידות מכניות מיוחדות, אוגנים וצירים מיוחדים.
- מנועי גיר עם צירים ואוגנים במידות מיוחדות.
- מנועים עם קירור עצמי.
- מנועים מוגני התפוצצות.

דרגות נצילות לפי תקן IEC60034-30-1

- IE1 - נצילות סטנדרטית - (STANDARD).
- IE2 - נצילות גבוהה - (HIGH).
- IE3 - נצילות פרימיום - (PREMIUM).
- IE4 - נצילות סופר פרימיום - (SUPER PREMIUM).
- IE5 - הערכים לא נקבעו אבל הסימון "שוריין".

בתקן הוגדרו בטבלאות הנצילות המינימליות למנועים
בדרגת נצילות IE1, IE2, IE3, IE4 - בתדר 50 Hz, 60 Hz.

הערה: לא הוגדרו ערכי הנצילות לדרגת הגנה IE5 !

תקן IEC60034-30-2

התקן נמצא בהכנה ויכלול:

- **מנועים עם מתח ותדר משתנים.**
- **יגדיר את ההפסדים בהרמוניות השונות במנועים שמוזנים על ידי ווסתי תדר.**
- **מנועים סינכרוניים.**
- בהכנה גם תקנים למנועי מתח גבוה.**

נצילות מינימלית IE3 – 50Hz

IEC60034-30-1

5.4.3 Nominal efficiency limits for IE3 (see Tables 7 and 8)

Table 7 – Nominal efficiency limits (%) for 50 Hz IE3

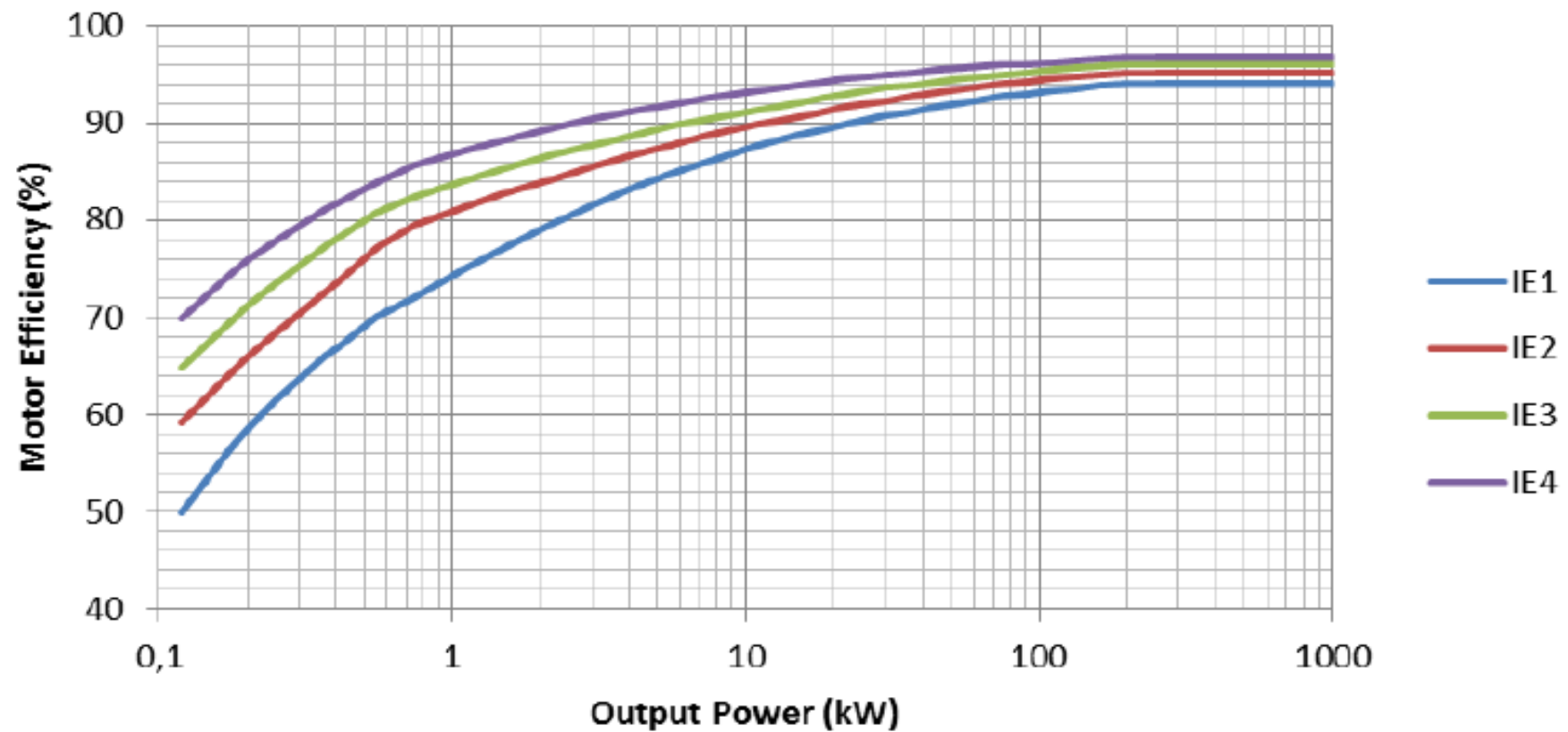
P _N kW	Number of poles/synchronous speed min ⁻¹			
	2/3000	4/1500	6/1000	8/750
0,12	60,8	64,8	57,7	50,7
0,18	65,9	69,9	63,9	56,7
0,20	67,2	71,1	65,4	60,6
0,25	69,7	73,5	68,6	64,1
0,37	73,8	77,3	73,5	69,3
0,40	74,6	78,0	74,4	70,1
0,55	77,8	80,8	77,2	73,0
0,75	80,7	82,5	78,9	75,0
1,1	82,7	84,1	81,0	77,7
1,5	84,2	85,3	82,5	79,7
2,2	85,9	86,7	84,3	81,9
3	87,1	87,7	85,6	83,5
4	88,1	88,6	86,8	84,8
5,5	89,2	89,6	88,0	86,2
7,5	90,1	90,4	89,1	87,3
11	91,2	91,4	90,3	88,6
15	91,9	92,1	91,2	89,6
18,5	92,4	92,6	91,7	90,1
22	92,7	93,0	92,2	90,6
30	93,3	93,6	92,9	91,3
37	93,7	93,9	93,3	91,8
45	94,0	94,2	93,7	92,2
55	94,3	94,6	94,1	92,5
75	94,7	95,0	94,6	93,1
90	95,0	95,2	94,9	93,4
110	95,2	95,4	95,1	93,7
132	95,4	95,6	95,4	94,0
160	95,6	95,8	95,6	94,3
200 up to 1 000	95,8	96,0	95,8	94,6

5.4.4 Nominal limits for Premium Efficiency (IE3)

Table 7 – Nominal limits (%) for Premium Efficiency (IE3) 50 Hz

P _N kW	Number of poles		
	2	4	6
0,75	80,7	82,5	78,9
1,1	82,7	84,1	81,0
1,5	84,2	85,3	82,5
2,2	85,9	86,7	84,3
3	87,1	87,7	85,6
4	88,1	88,6	86,8
5,5	89,2	89,6	88,0
7,5	90,1	90,4	89,1
11	91,2	91,4	90,3
15	91,9	92,1	91,2
18,5	92,4	92,6	91,7
22	92,7	93,0	92,2
30	93,3	93,6	92,9
37	93,7	93,9	93,3
45	94,0	94,2	93,7
55	94,3	94,6	94,1
75	94,7	95,0	94,6
90	95,0	95,2	94,9
110	95,2	95,4	95,1
132	95,4	95,6	95,4
160	95,6	95,8	95,6
200 up to 375	95,8	96,0	95,8

תקן IEC60034-30-1



דרגות נצילות שונות בתקן IEC60034-30-1

2P=8	2p=6	2P=4	2P=2	רמה	kW
70.8	78.1	81.4	79.6	IE2	1.1
77.7	81.0	84.1	82.7	IE3	
80.8	84.5	87.2	85.2	IE4	
-	-	-	-	IE5	
86.9	88.7	89.8	89.4	IE2	11
88.6	90.3	91.4	91.2	IE3	
90.4	92.3	93.3	92.6	IE4	
-	-	-	-	IE5	
92.3	94.3	94.5	94.3	IE2	110
93.7	95.1	95.4	95.2	IE3	
94.7	95.8	96.3	96.0	IE4	
-	-	-	-	IE5	
93.5	95.0	95.1	95.0	IE2	200 up to 1000
94.6	95.8	96.0	95.8	IE3	
95.4	96.6	96.7	96.5	IE4	
-	-	-	-	IE5	

השוואה בין תקן IEC60034-30 לתקן IEC60034-30-1

פרמטר	IEC60034-30	IEC60034-30-1
הספק	0.75 up to 375 kW	0.12 up tp 1000 kW
קטבים	2, 4, 6	2, 4, 6, 8
מתח	up to 1000 Volt	50 up to 1000 Volt
סוג ההזנה	Line	Line
טמפרטורת סביבה	- 20 up to 40 ° C	- 20 up to 60 ° C
VFD	no	yes
גובה מעל פני הים	up to 1000 m	Up to 4000 m
מוגני התפוצצות	yes	yes
מנועי עם ממסרות	yes	yes
מנועים לפינוי עשן	no	up to 400 ° C
מנועים מיוחדים	no	no

Motor type		IE1	IE2	IE3	IE4	IE5
Three-phase cage-rotor induction motors (ASM)	Random wound windings; IP2x (open motors)	Yes	Yes	Yes	Difficult	No
	Form wound windings; IP2x (open motors)	Yes	Yes	Difficult	No	No
	Random wound windings; IP4x and above (enclosed motors greater than 0.75 kW)	Yes	Yes	Yes	Difficult	No
	Random wound windings; IP4x and above (enclosed motors less than or equal to 0.75 kW)	Yes	Yes	Yes	Difficult	No
	Form wound windings; IP4x and above	Yes	Yes	Yes	Difficult	No
Three-phase wound-rotor induction motors		Yes	Yes	Yes	Difficult	No
Single-phase induction motors	Start capacitor	Difficult	No	No	No	No
	Run capacitor	Yes	Difficult	No	No	No
	Start/run capacitor	Yes	Difficult	No	No	No
	Split-phase	Difficult	No	No	No	No
Synchronous motors	Line-start permanent-magnet (LSPM ^a)	Yes	Yes	Yes	Difficult	No

^a Line-start permanent-magnet motors have limitations on their line-start capabilities with respect to torque and external inertia and may not be suitable for all types of applications.



Next level of technology: IE5



© ThinGap

IE 5 ?

“The levels of the **IE5 efficiency** class are envisaged to be incorporated into the **next edition** of this standard. It is the goal to reduce the losses of IE5 **by some 20% relative to IE4**. Motor technologies for IE5 are currently not well developed and not commercially available.

Further energy-efficiency optimizations will have to **focus on improved system efficiency** throughout the entire operating load cycle including all system-losses (converter, filter, cables, motor etc.) – see EN 52800.”

סיכום

הדרישה לשיפור ההתייעלות אנרגטית היא צו השעה !

● **דרגת הנצילות של IE3 הושגה על ידי:
אופטימיזציה של התכנון הקלאסי.
ושיפור חומרי הגלם.**

● **טרם נקבע מועד מחייב ממתי יאסר השימוש במנועים IE3.**

● **עבור מנועים בנצילות של IE4, IE5 - נדרשים פיתוחים טכנולוגיים.
מגנטים קבועים וכו'. כבר נמצאים בפיתוח.**

● **טרם נקבע המועד שבו יהיה צורך לעבור למנועי IE4.**

● **טרם גובשה הטכנולוגיות לייצור מנועים עם נצילות בדרגה IE5.**

● **לא נקבע מועד לדרישה לעבור למנועי IE4.**

"בינתיים" - יש לחזור ל"בייסיק" !

חסכון באנרגיה

תקן 1 - SI50598

2 - SI50598



מרצה
אהרון גרוס

אהרון גרוס

יותר יעילות יותר אמינות
במנועים חשמליים

SI 50598 part 1

תקן ישראלי ת"י 50598 חלק 1

EN 50598-1: December 2014

May 2016

אייר התשע"ו – מאי 2016

ICS CODE: 29.160.30

**תכן אקולוגי של מערכות הינע חשמליות, של מתנעי מנועים,
של אלקטרוניקת הספק ושל היישומים המונעים מהם:
דרישות כלליות לקביעת תקנים לנצילות אנרגייה של ציוד הינע
חשמלי באמצעות שימוש בגישת המוצר המורחב (EPA)
ובמודל אנליטי למחצה (SAM)**

Ecodesign for power drive systems, motor starters, power electronics & their driven applications:
General requirements for setting energy efficiency standards for power driven equipment using the
extended product approach (EPA), and semi analytic model (SAM)

תקן 1 - SI50598

התקן מפרט:

- דרישות כלליות ליצירת תקנים להתייעלות אנרגטית לנצילות חשמלית כאשר ההתייחסות היא למערכות מורחבות (מוכללות):
Expanded Product Approach (EPA).
על ידי ניתוח מודל חצי אנאליטית: Sami Analytic Model – (SAM).- התהליך והמטודולוגיה של אופן חישוב ההפסדים של המערכת על ידי "וועדת מוצר" שתחשב את ההפסדים של הרכיבים במערכת המוכללת הכוללת את:
 - המנוע החשמלי,
 - מערכת ההתנעה
 - והמערכת המונעת.
- התוצר של התהליך הוא מקדם נצילות:
Energy Efficient Index (EEI)

תקן ישראלי ת"י 50598 חלק 2

**תכן אקולוגי של מערכות הינע חשמליות, של מתנעי מנועים,
של אלקטרוניקת הספק ושל היישומים המונעים מהם:
מדדי נצילות אנרגייה למערכות הינע חשמליות ולמתנעי מנועים**

Ecodesign for power drive systems, motor starters, power electronics & their driven applications:
Energy efficiency indicators for power drive systems and motor starters

Ecodesign for power drive systems, motor starters, power
electronics & their driven applications - Part 2: Energy efficiency
indicators for power drive systems and motor starters

תקן 2 - SI50598

התקן מפרט:

☀ את התהליך לחשוב ההפסדים של:

המערכת מניעה (PDS - Power Drive System)

מערכת ההתנעה (CDM - Complete Drive Module)

☀ את ההפסדים בשמונה נקודות עבודה רלוונטיות של המערכת.

☀ התקן נותן את ההפסדים עבור:

מערכת ההתנעה CDM.

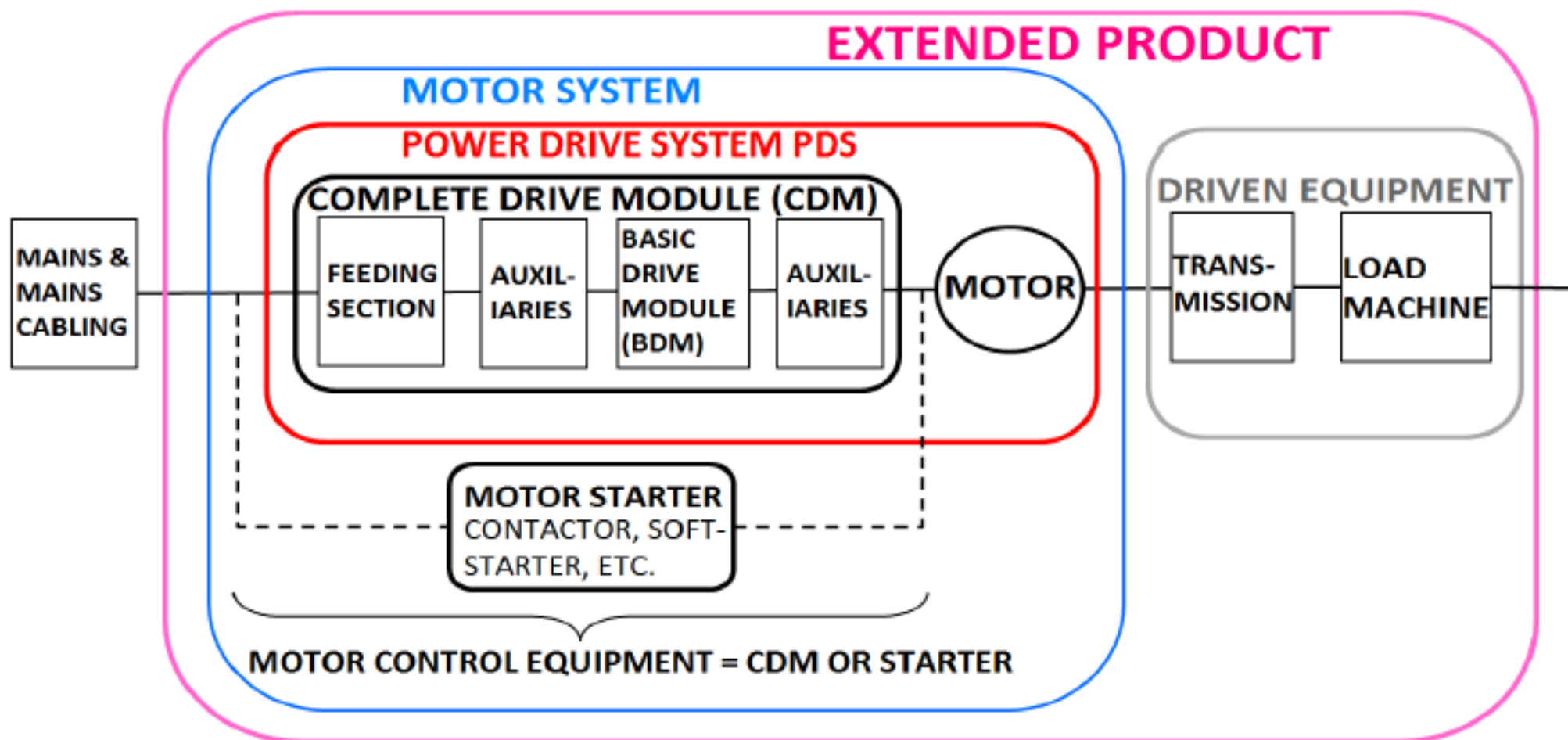
המערכת המניעה PDS.

בדרגות נצילות (IES0-IES2).

כאשר המנוע הסטנדרטי הוא מנוע בנצילות IE2 עם ארבעה קטבים

כפי שמוגדר בתקן IEC69934-30.

מערכת מוכללת EP (EXTENDED PRODUCT)



אחריות הועדה הטכנית לציוד המונע (-מתקן מורחב EP)

לחישוב מקדם היעילות האנרגטית (EEI) של המערכת המוכללת לפי המודל הסמי אנאליטי. הוועדה הטכנית תתייחס לנתונים הבאים:

- עקומות מומנט סיבובים אופיניות.
- משטרי עבודה עומס וזמן אופייניים.
- שיטה ונקודות עבודה שעבורן יחושבו ההפסדים.
- מודל סמי אנאליטי מבוסס על המומנט והסיבובים בשמונה נקודות העבודה כפי שמוגדרות בתקן.
- את הנתונים תאסוף הוועדה מהיצרנים של רכיבי המערכת מהמשתמשים והמפעילים שלה המתקן המורחב.

הפרמטרים המתארים את מישטר העבודה של המתקן המורחב

הפרמטרים הדרושים לתאור מישטר ^{EP} העבודה של התקן הכולל הם:

1. עקומת מומנט סיבובים.
2. אופיין עומס בתלות בזמן.

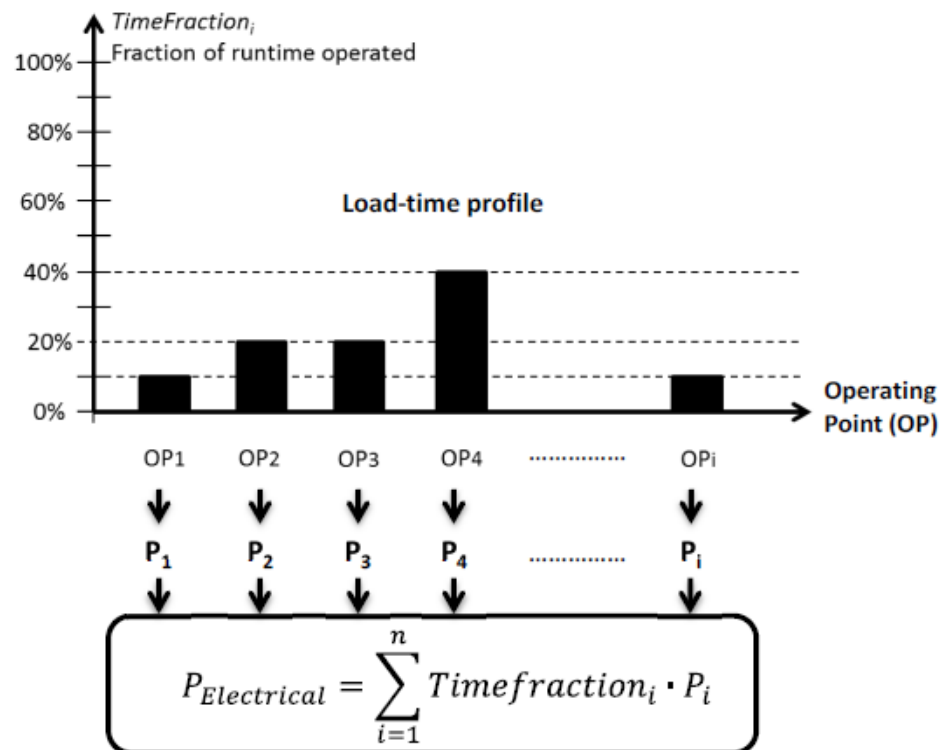


Figure 4 — Typical power required by application over time fraction = load-time profile required to calculate the needed electrical energy

תחומי העבודה של המערכת המניעה

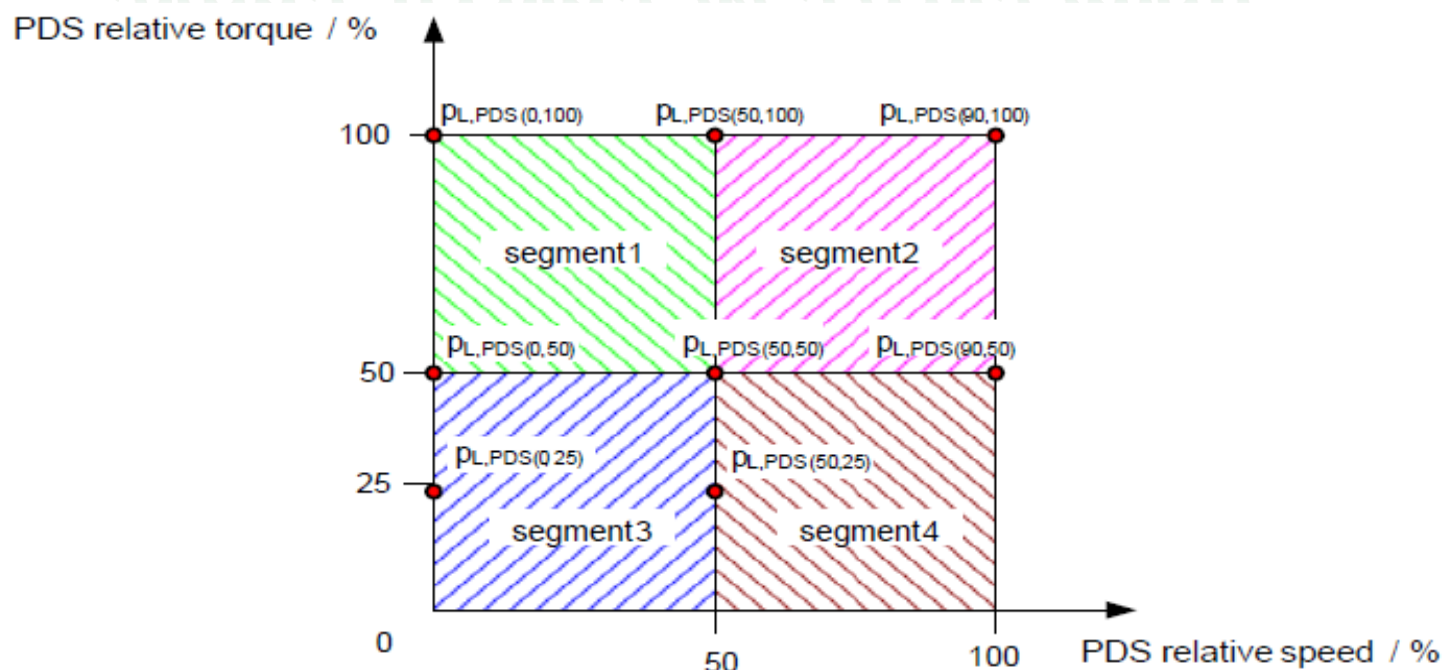


Figure 8 — Four segments of deviating operating points of a PDS

Segment 1 covers the operating points up to 50% relative PDS speed and above 50% relative torque.

Segment 2 covers the operating points above 50% relative PDS speed and above 50% relative torque.

Segment 3 covers the operating points up to 50% relative PDS speed and up to 50% relative torque.

Segment 4 covers the operating points above 50% relative PDS speed and up to 50% relative torque.

נקודות העבודה במתקן שבהן נחשב את ההפסדים

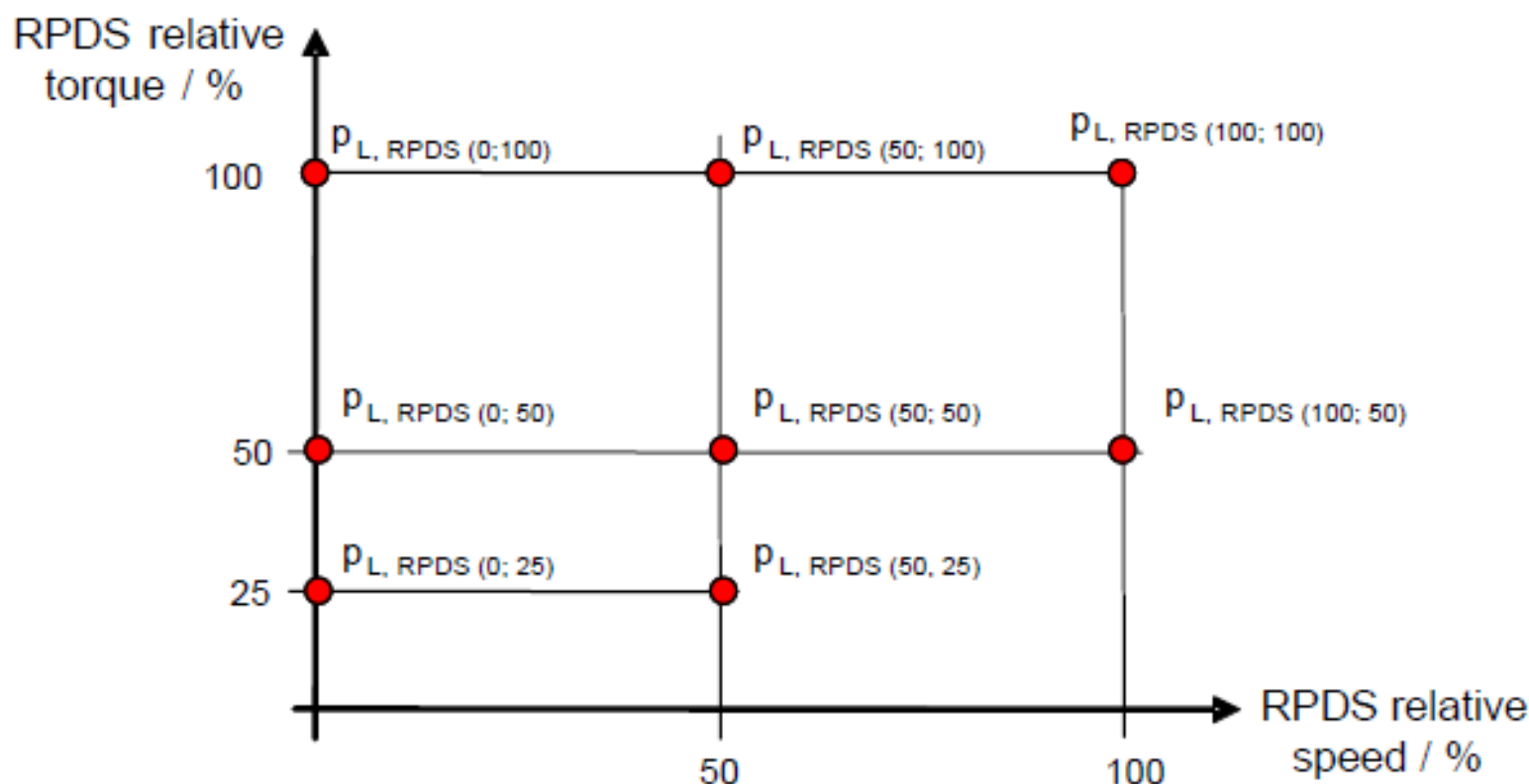


Figure 3 — Illustration of the operating points for speed versus torque to determine the relative power losses of the power drive system (RPDS)

תרשים זרימה של תהליך קביעת מקדם הנצילות (EEI)

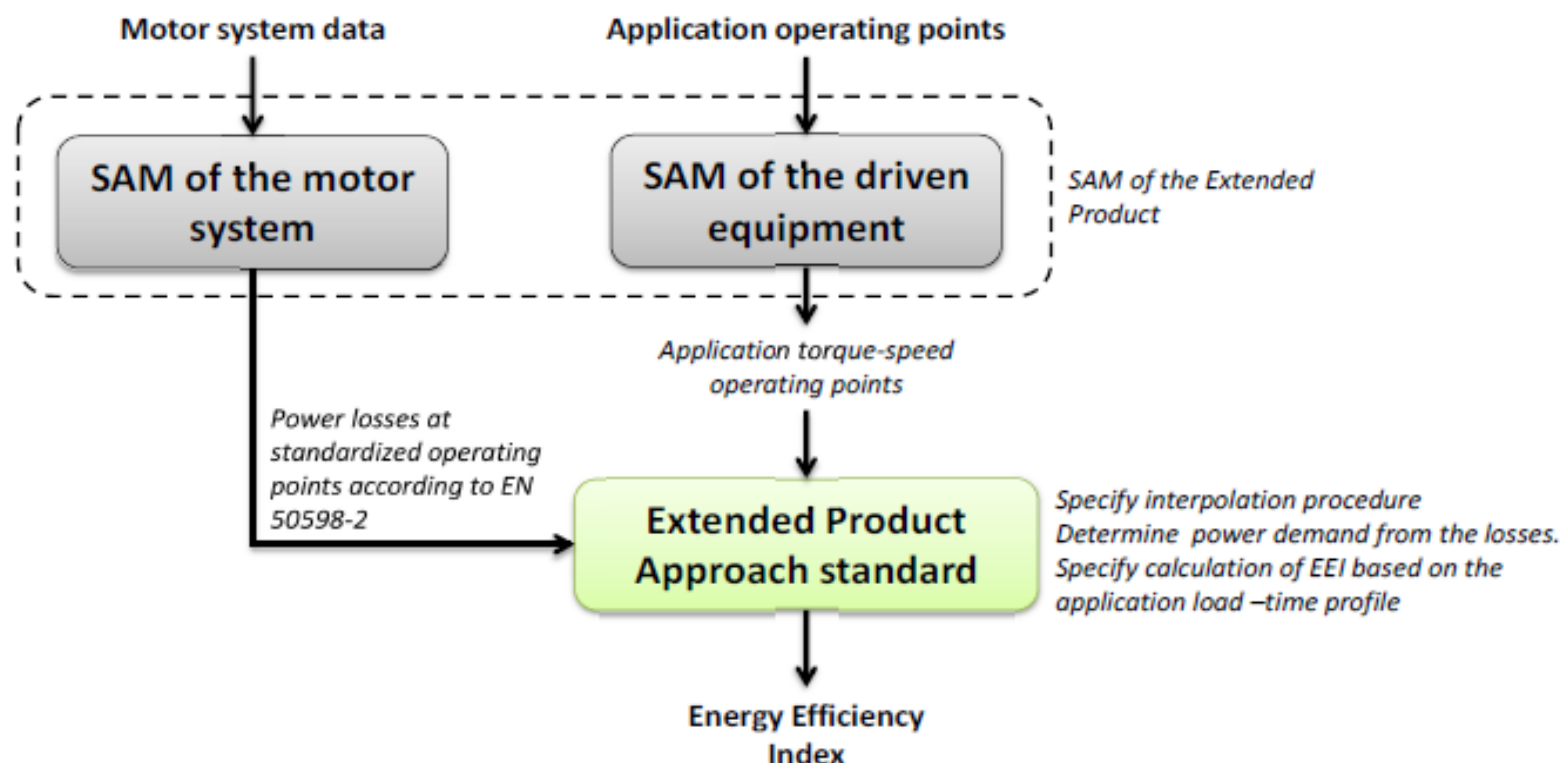


Figure 7 — Illustration of the workflow to derive the energy efficiency index of an extended product. The relative power losses of the motor system together with permissible tolerances are the input data of the extended product approach

אופן החישוב מקדם היעילות האנרגטית EEI למשאבה

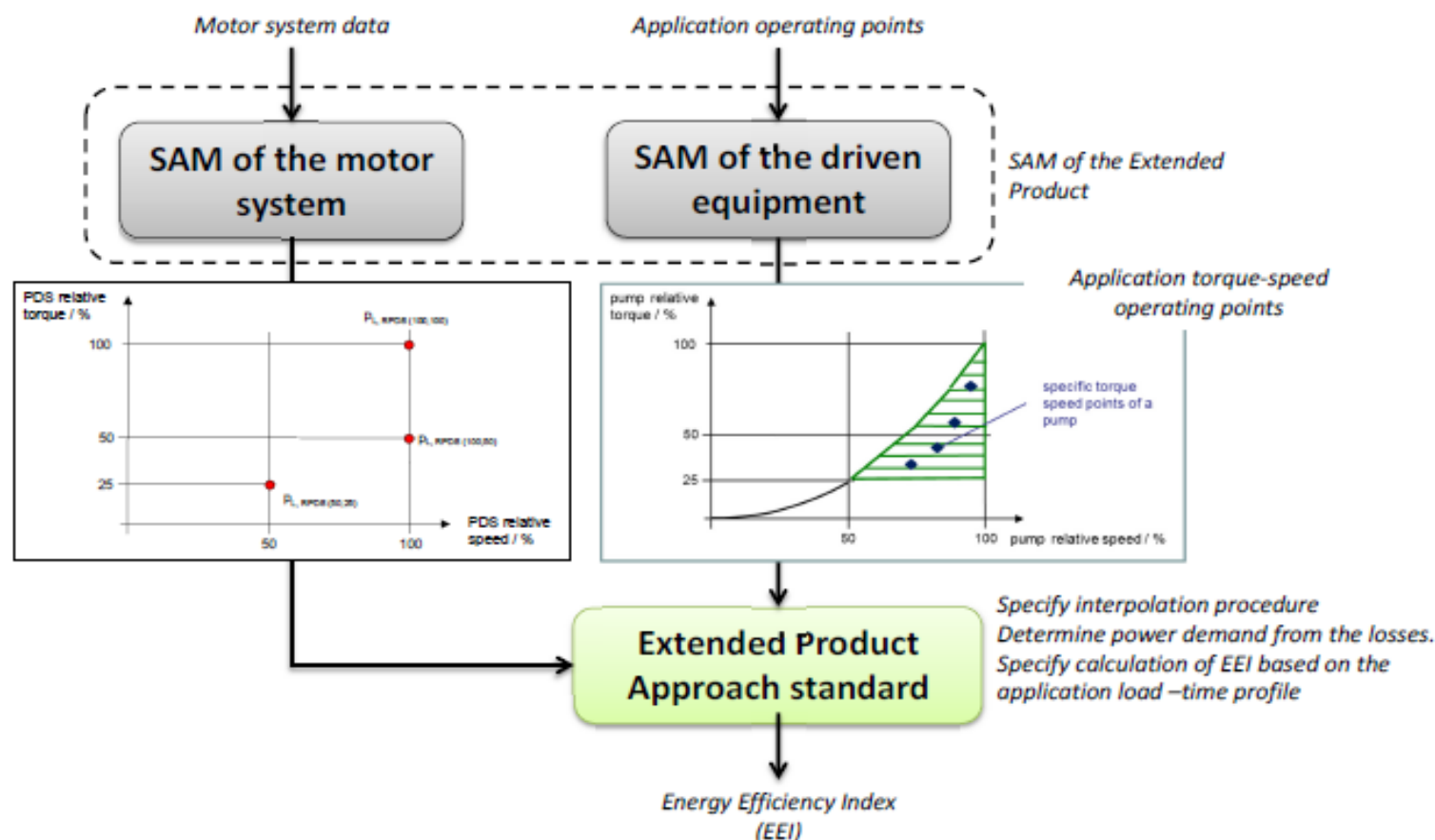


Figure A.2 — Illustrated example how the SAMs of the PDS and the pump system interact to the resulting efficiency index of a pump system

תחומי העבודה של משאבה המונע

Example how to apply the SAM in the EPA for pump systems with a required speed versus torque loss points using the PDS

One example will be the pump systems and other flow rate machine systems which normally are associated to a parabolic like speed versus torque shape.

$$T = f(s^2)$$

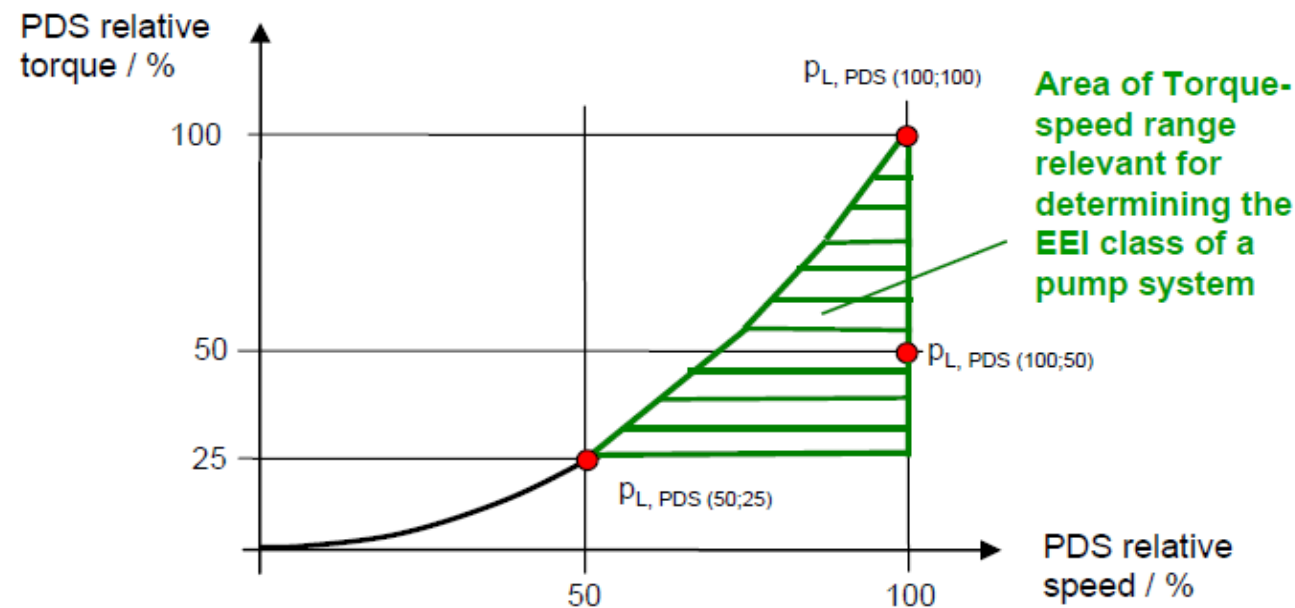


Figure A.1 — Three points of relative losses and shaded area of interest for the pump manufactures while defining their EEI (energy efficiency index)

תחומי העבודה של מסוע

$$T = \text{Constant}$$

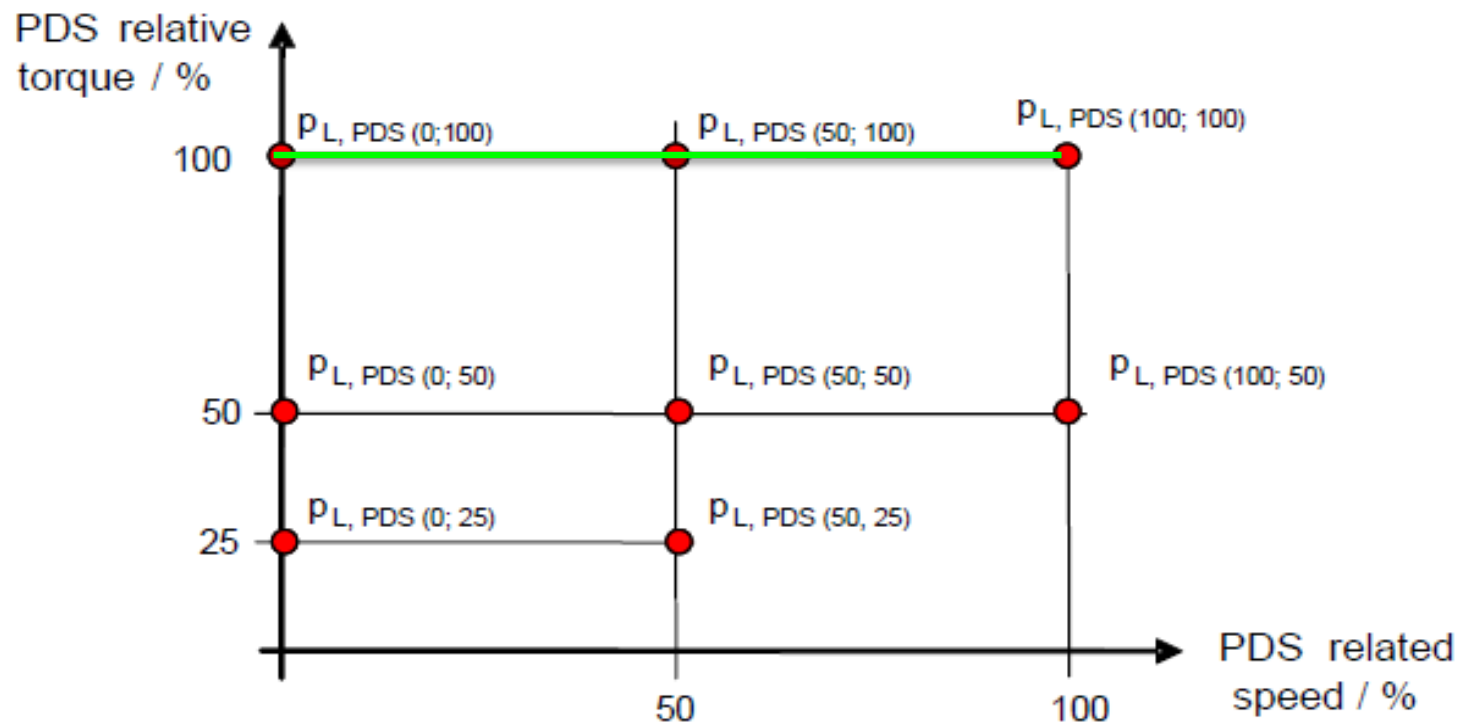


Figure 5 — Speed versus torque relative power loss operating points to determine the power drive system (PDS) losses

ההפסדים (ב-%) של מערכת ההתנעה CDM היחוסית עבור שמונה נקודות העבודה השונות.

Table A.1 — Relative losses (%) of the reference CDM's, based on 400V RCDM of different power ratings at the operating points described in Figure 5

P_M / kW	$S_{r, \text{equ}} / \text{kVA}$	$p_{L, \text{RCDM,}}$ relative (0;25)	$p_{L, \text{RCDM,}}$ relative (0;50)	$p_{L, \text{RCDM,}}$ relative (0;100)	$p_{L, \text{RCDM,}}$ relative (50;25)	$p_{L, \text{RCDM,}}$ relative (50;50)	$p_{L, \text{RCDM,}}$ relative (50;100)	$p_{L, \text{RCDM,}}$ relative (90;50)	$p_{L, \text{RCDM,}}$ relative (90;100)
0,12	0,278	33,79	33,84	34,30	33,89	34,04	34,84	34,39	35,85
0,18	0,381	25,24	25,28	25,75	25,34	25,48	26,28	25,83	27,30
0,25	0,5	19,74	19,78	20,25	19,84	19,99	20,78	20,34	21,80
0,37	0,697	14,77	14,82	15,29	14,87	15,02	15,82	15,37	16,84
0,55	0,977	11,14	11,19	11,66	11,24	11,39	12,19	11,74	13,21
0,75	1,29	8,96	9,00	9,47	9,06	9,20	10,00	9,55	11,02
1,1	1,71	6,86	7,13	7,82	6,93	7,33	8,40	7,68	9,51
1,5	2,29	5,56	5,83	6,52	5,63	6,03	7,10	6,38	8,21
2,2	3,3	4,54	4,82	5,51	4,61	5,02	6,09	5,37	7,20
3	4,44	4,07	4,35	5,04	4,14	4,55	5,62	4,90	6,72
4	5,85	3,74	4,02	4,71	3,82	4,22	5,29	4,57	6,39
5,5	7,94	3,35	3,63	4,32	3,42	3,83	4,90	4,18	6,01
7,5	9,95	2,80	3,09	4,02	2,86	3,28	4,64	3,61	5,84
11	14,4	2,39	2,68	3,61	2,46	2,87	4,23	3,20	5,43
15	19,5	2,15	2,44	3,37	2,22	2,63	3,99	2,96	5,18
18,5	23,9	2,02	2,32	3,24	2,09	2,51	3,86	2,83	5,05
22	28,3	1,94	2,23	3,16	2,01	2,43	3,78	2,75	4,97
30	38,2	1,83	2,12	3,05	1,90	2,31	3,67	2,64	4,87
37	47	1,76	2,05	2,98	1,83	2,24	3,60	2,57	4,79
45	56,9	1,71	2,01	2,93	1,78	2,20	3,55	2,52	4,75
55	68,4	1,62	1,93	2,90	1,70	2,13	3,53	2,47	4,74
75	92,8	1,58	1,88	2,85	1,65	2,08	3,48	2,42	4,69
90	111	1,55	1,86	2,82	1,62	2,05	3,45	2,39	4,66

ההפסדים (ב-%) של מערכת ההתנעה CDM

עבור שמונה נקודות העבודה השונות.

Table A.1 — Relative losses (%) of the reference CDM's, based on 400V RCDM of different power ratings at the operating points described in Figure 5

P_M / kW	$S_{r, \text{equ}} / \text{kVA}$	$p_{L, \text{RCDM,}}$ relative (0;25)	$p_{L, \text{RCDM,}}$ relative (0;50)	$p_{L, \text{RCDM,}}$ relative (0;100)	$p_{L, \text{RCDM,}}$ relative (50;25)	$p_{L, \text{RCDM,}}$ relative (50;50)	$p_{L, \text{RCDM,}}$ relative (50;100)	$p_{L, \text{RCDM,}}$ relative (90;50)	$p_{L, \text{RCDM,}}$ relative (90;100)
110	135	1,24	1,48	2,27	1,32	1,68	2,91	2,02	4,11
132	162	1,23	1,47	2,26	1,30	1,67	2,89	2,01	4,10
160	196	1,22	1,46	2,25	1,29	1,66	2,88	2,00	4,09
200	245	1,21	1,45	2,24	1,28	1,65	2,87	1,98	4,07
250	302	1,17	1,42	2,24	1,24	1,61	2,88	1,95	4,10
315	381	1,16	1,41	2,23	1,23	1,61	2,87	1,94	4,09
355	429	1,16	1,41	2,23	1,23	1,60	2,87	1,94	4,09
400	483	1,16	1,41	2,23	1,23	1,60	2,87	1,94	4,09
500	604	1,15	1,40	2,22	1,22	1,60	2,86	1,94	4,08
560	677	1,15	1,40	2,22	1,22	1,60	2,86	1,93	4,08
630	761	1,15	1,40	2,22	1,22	1,60	2,86	1,93	4,08
710	858	1,15	1,40	2,22	1,22	1,59	2,86	1,93	4,08
800	967	1,15	1,40	2,22	1,22	1,59	2,86	1,93	4,08
900	1088	1,15	1,39	2,21	1,21	1,59	2,85	1,93	4,08
1 000	1209	1,14	1,39	2,21	1,21	1,59	2,85	1,93	4,08

הפסדי (ב-%) של מערכת ההינע PDS עם מנוע בדרגת נצילות IE2

Table A.3 — Relative losses (%) for a reference PDS, based on a 400V RCDM and 4-pole reference motors (IE2) at different power ratings and at the operating points described in Figure 3

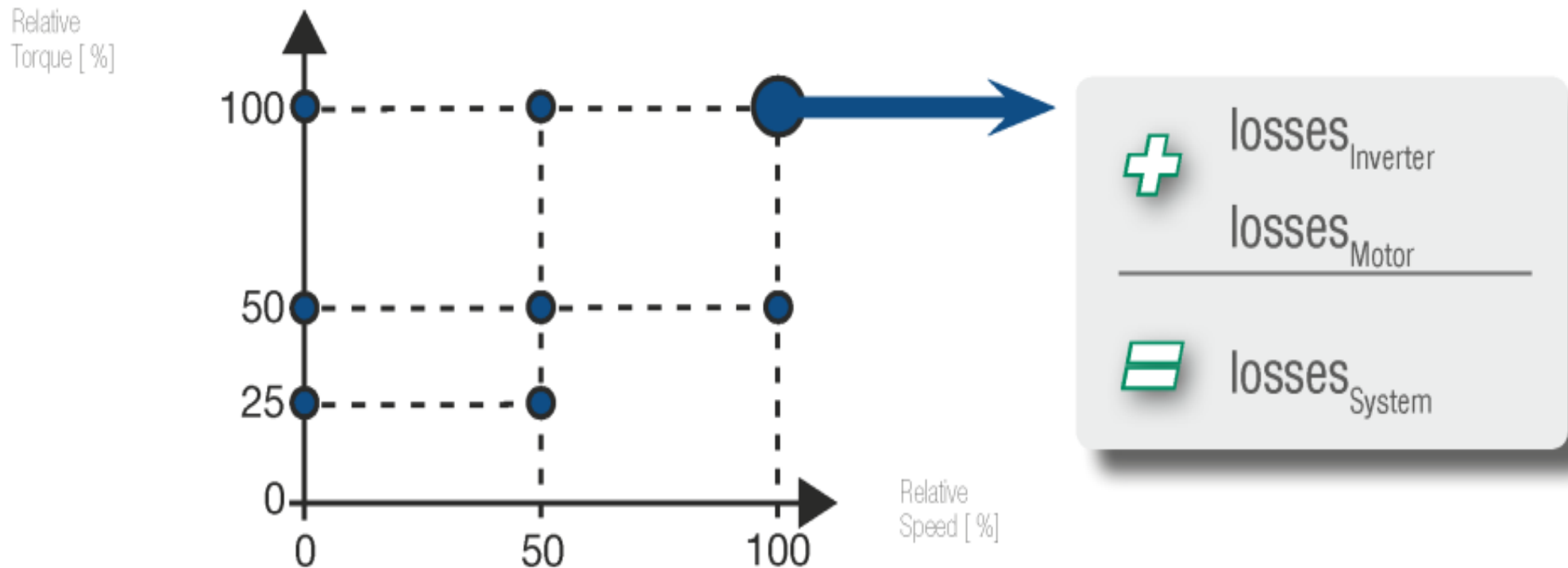
$P_r, M / \text{kW}$	$P_{L,PDS,}$ relative (0;25)	$P_{L, PDS,}$ relative (0;50)	$P_{L,RPDS,}$ relative (0;100)	$P_{L,PDS,}$ relative (50;25)	$P_{L,PDS,}$ relative (50;50)	$P_{L,PDS,}$ relative (50;100)	$P_{L,PDS,}$ relative (100;50)	$P_{L,PDS,}$ relative (100;100)
0,12	107,2	111,2	139,4	115,1	119,4	147,5	136,8	172,1
0,18	77,22	80,61	101,80	84,24	87,73	109,0	104,0	127,5
0,25	58,98	61,96	78,50	64,98	68,08	84,76	82,31	102,2
0,37	42,82	45,52	59,50	47,51	50,39	64,20	61,03	79,62
0,55	31,49	34,28	48,41	34,97	37,93	51,75	45,05	61,40
0,75	24,71	27,18	39,09	27,68	30,32	41,90	37,74	51,64
1,1	18,06	20,78	32,66	20,77	23,69	35,26	29,92	43,98
1,5	14,49	17,10	27,85	16,90	20,01	30,54	25,28	39,03
2,2	12,01	14,43	23,77	14,32	16,93	27,04	22,15	34,54
3	10,52	12,74	21,26	12,63	15,03	24,52	19,91	31,61
4	9,27	11,28	19,09	11,19	13,47	22,14	18,01	29,11
5,5	7,84	9,64	16,74	9,64	11,63	19,67	15,80	26,57
7,5	6,21	7,80	14,63	7,79	9,65	17,36	13,45	24,01
11	5,33	6,91	13,43	6,82	8,66	15,94	12,18	21,60
15	4,60	6,17	11,88	5,99	7,72	14,39	10,95	19,98
18,5	4,31	5,80	11,29	5,60	7,24	13,69	10,21	18,84
22	4,10	5,47	10,86	5,39	6,93	13,16	9,86	18,11
30	3,83	5,00	10,08	4,92	6,34	12,17	9,13	16,84
37	3,54	4,70	9,39	4,72	6,05	11,47	8,70	16,14
45	3,36	4,44	8,70	4,45	5,68	10,79	8,40	15,46
55	3,11	4,10	7,91	4,21	5,35	9,99	8,18	14,76
75	2,95	3,63	7,03	4,04	4,97	9,11	7,88	13,95
90	2,91	3,59	6,98	3,90	4,73	8,86	7,50	13,60

הפסדי (ב-%) של מערכת ההינע PDS עם מנוע 4 קטבים בדרגת נצילות IE2 בשמונה נקודות העבודה השונות.

Table A.3 — Relative losses (%) for a reference PDS, based on a 400V RCDM and 4-pole reference motors (IE2) at different power ratings and at the operating points described in Figure 3

$P_r, M / \text{kW}$	$p_{L,PDS,}$ relative (0;25)	$p_{L, PDS,}$ relative (0;50)	$p_{L,RPDS,}$ relative (0;100)	$p_{L,PDS,}$ relative (50;25)	$p_{L,PDS,}$ relative (50;50)	$p_{L,PDS,}$ relative (50;100)	$p_{L,PDS,}$ relative (100;50)	$p_{L,PDS,}$ relative (100;100)
110	2,52	3,22	5,99	3,82	4,76	8,27	7,70	13,12
132	2,51	3,20	5,97	3,50	4,55	8,15	6,80	12,80
160	2,49	3,19	5,86	3,38	4,43	8,13	6,78	12,47
200	2,48	3,18	5,84	3,37	4,32	8,02	6,64	12,14
250	2,41	3,12	5,71	3,30	4,24	7,88	6,57	12,10
315	2,30	3,01	5,70	3,29	4,25	7,77	6,56	12,10
355	2,30	3,00	5,59	3,29	4,23	7,77	6,56	12,09
400	2,30	3,00	5,59	3,29	4,23	7,67	6,56	12,09
500	2,29	2,99	5,48	3,27	4,23	7,65	6,56	12,08
560	2,29	2,99	5,38	3,27	4,23	7,56	6,55	12,08
630	2,29	2,99	5,28	3,27	4,23	7,55	6,55	12,08
710	2,29	2,99	5,28	3,27	4,22	7,56	6,55	12,08
800	2,29	2,99	5,18	3,27	4,22	7,46	6,55	12,08
900	2,29	2,98	5,07	3,26	4,22	7,35	6,55	12,08
1 000	2,28	2,98	5,07	3,26	4,22	7,25	6,55	12,08

חישוב מקדם היעילות האנרגטית EI של מערכת ההינע (PDS)



חישוב דרגת הנצילות של IE PDS (- מערכת מניעה)

P kW	P _{L, RM} W	P _{L, RCDM} W	P _{L, RPDS} W	IES class		
				IES 0	IES 1	IES 2
0.12	96	100	207	> 248 W	166 W - 248 W	< 166 W
0.18	113	104	229	> 275 W	183 W - 275 W	< 183 W
0.25	132	109	256	> 307 W	205 W - 307 W	< 205 W
0.37	160	117	295	> 354 W	236 W - 354 W	< 236 W
0.55	188	129	338	> 406 W	270 W - 406 W	< 270 W
0.75	221	142	387	> 464 W	310 W - 464 W	< 310 W
1.1	289	163	484	> 581 W	387 W - 581 W	< 387 W
1.5	358	188	585	> 702 W	468 W - 702 W	< 468 W
2.2	471	237	760	> 912 W	608 W - 912 W	< 608 W
3	585	299	948	> 1,138 W	758 W - 1,138 W	< 758 W
4	712	374	1,164	> 1,397 W	931 W - 1,397 W	< 931 W
5.5	887	477	1,462	> 1,754 W	1,170 W - 1,754 W	< 1,170 W
7.5	1099	581	1,801	> 2,161 W	1,441 W - 2,161 W	< 1,441 W
11	1437	781	2,376	> 2,851 W	1,901 W - 2,851 W	< 1,901 W
15	1790	1,010	2,997	> 3,596 W	2,398 W - 3,596 W	< 2,398 W
18.5	2053	1,207	3,486	> 4,183 W	2,789 W - 4,183 W	< 2,789 W
22	2,320	1,408	3,983	> 4,780 W	3,186 W - 4,780 W	< 3,186 W
30	2,878	1,858	5,053	> 6,064 W	4,042 W - 6,064 W	< 4,042 W
37	3351	2,253	5,973	> 7,168 W	4,778 W - 7,168 W	< 4,778 W
45	3835	2,700	6,957	> 8,348 W	5,566 W - 8,348 W	< 5,566 W

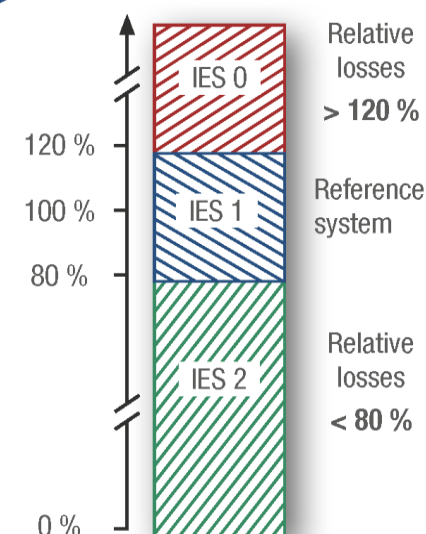
Source: EN50598

Calculation example:

3 kW PMSM motor (IE 4) with an inverter (IE 1)

Inverter losses: 299 W **IE1**
Motor losses : 427 W **IE4**

System losses **726 W** **IES2**



תהליך חישוב מקדם היעילות האנרגטית EEI של המתקן

The interactions between the different stakeholders of the extended product approach are shown in Figure C.1.

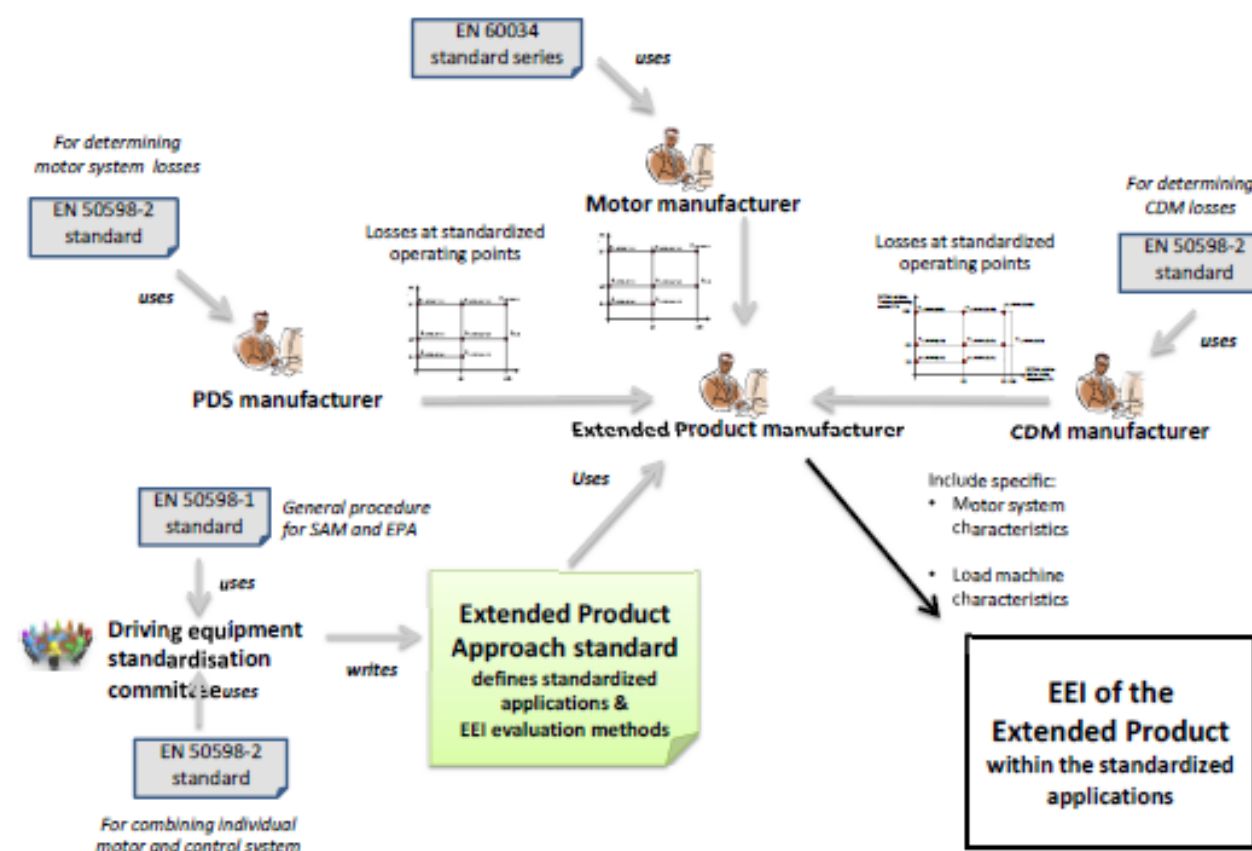


Figure C.1 — Illustration of the responsibilities and workflow to derive the energy efficiency index (EEI) of an extended product

תהליך חישוב מקדם היעילות האנרגטית של המתקן המוכלל (EXTENDED PRODUCT)

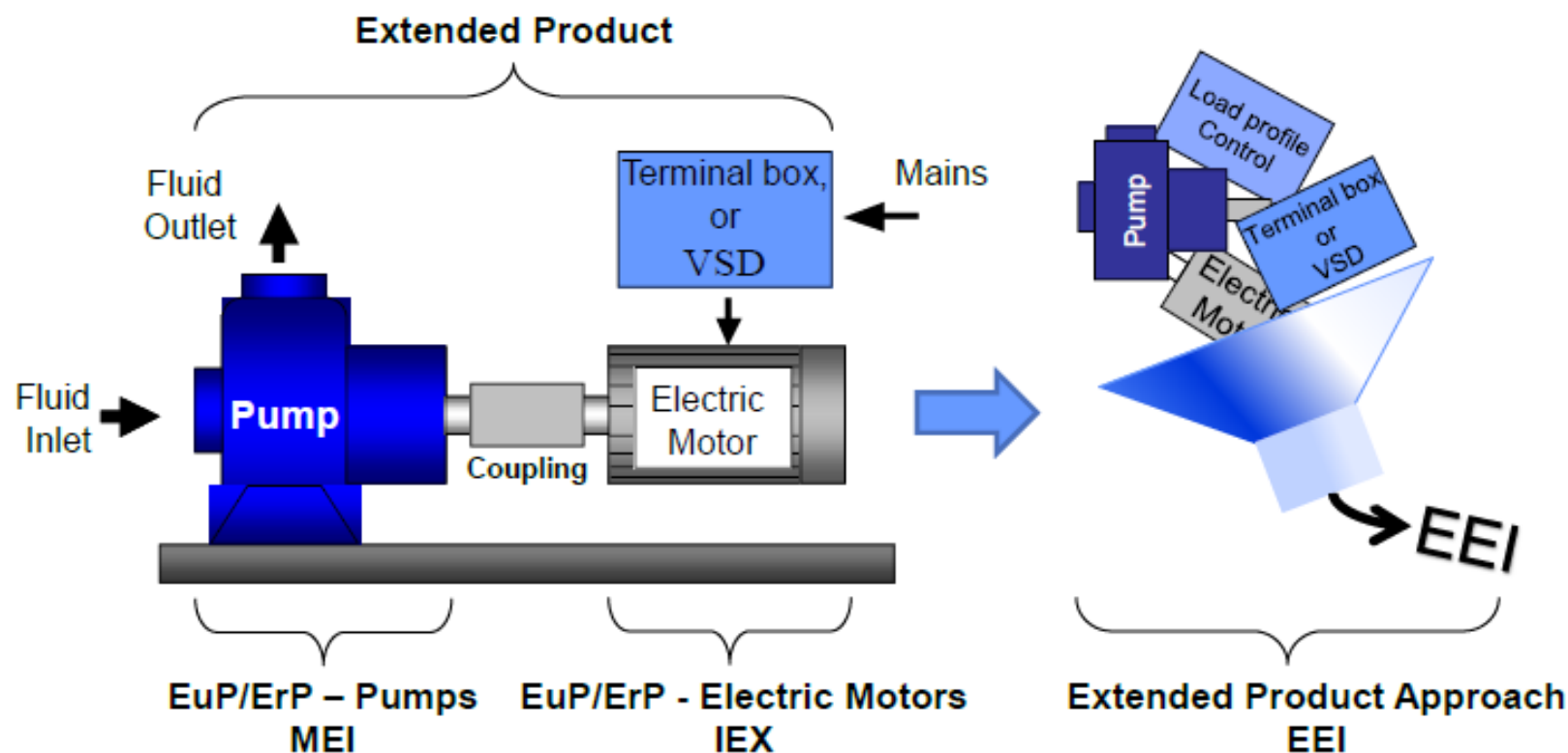


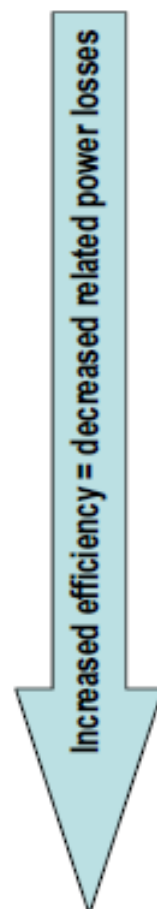
Figure 14 Definition of Extended Product Approach

לוח זמנים להחלה

The following dates are fixed:

- | | | |
|---|-------|------------|
| • latest date by which this document has to be implemented at national level by publication of an identical national standard or by endorsement | (dop) | 2015-11-17 |
| • latest date by which the national standards conflicting with this document have to be withdrawn | (dow) | 2017-11-17 |

המצב הקיים מול התוכנית:



Line fed motors Efficiency	Converter fed motors Efficiency	Converters (CDM) losses related to rated power	Power Drive systems (PDS) losses related to rated power
IE0 – not used	IE0 – u.c.	IE0 – more than 25% higher than reference value	IES0 – more than 20% higher than reference value
IE1 – can be mostly technically achieved	IE1 – u.c.	IE1 - reference value $\pm 25\%$	IES1 - reference value $\pm 20\%$
IE2 – can be achieved by enhancement	IE2 – u.c.	IE2 – more than 25% lower than reference value	IES2 – more than 20% lower than reference value
IE3 – needs significant amount of techniques	IE3 – u.c.	IE3 – u.c.	IES3 – u.c.
IE4 – will require new techniques	IE4 – u.c.	IE4 – u.c	IES4 – u.c
IE5 – experimental new technologies	IE5 – u.c.	IE5 – u.c	IES5 – u.c
IE6 – not used	IE6 – u.c.	IE6 – u.c	IES6 – u.c
IE7 – not used	IE7 – u.c.	IE7 – u.c.	IES7 – u.c.
IE8 – not used	IE8 – u.c.	IE8 – u.c.	IES8 – u.c.
IE9 – not used	IE9 – u.c.	IE9 – u.c.	IES9 – u.c.

u.c. = under consideration

NOTE IE classes for line fed motors are defined in EN 60034-30-1.

IE classes for converter fed motors will be defined in the future IEC/TS 60034-30-2 (in preparation).

Figure 9 — Metrical relation of IE, IES classes

סיכום

- היכולת לשפר את נצילות המנועים-שלב האופטימיזציה מוצה! עם מנועי IE3 .
- מנועי IE4 טכנולוגיות חדשות – נמצאות בפיתוח.
- מנועי IE5 ???

מה עושים "עד אז" ... ?

- חוזרים ל"בייסיק"! משפרים את הביצועים של "צי" המנועים הקיימים.
- התאמת המנוע לעומס
- מצב הרשת: סימטריה הרמוניות מקדם הספק.
- תנאי תפעול: הספק נדרש, מספר המנועים, מהירות סיבוב-קטבים, מתח הזנה, אופן התנעה, וויסות...
- אחזקה-תיקונים שידרוג המנוע או רכישת חדש?

משפרים נצילות תוך ניצול המתודולוגיה של ת"י 50598

על ידי מי ?

- מנהלים במפעלים ? מכון התקנים ? חברות יעוץ ?

אהרון גרוס

יותר יעילות יותר אמינות

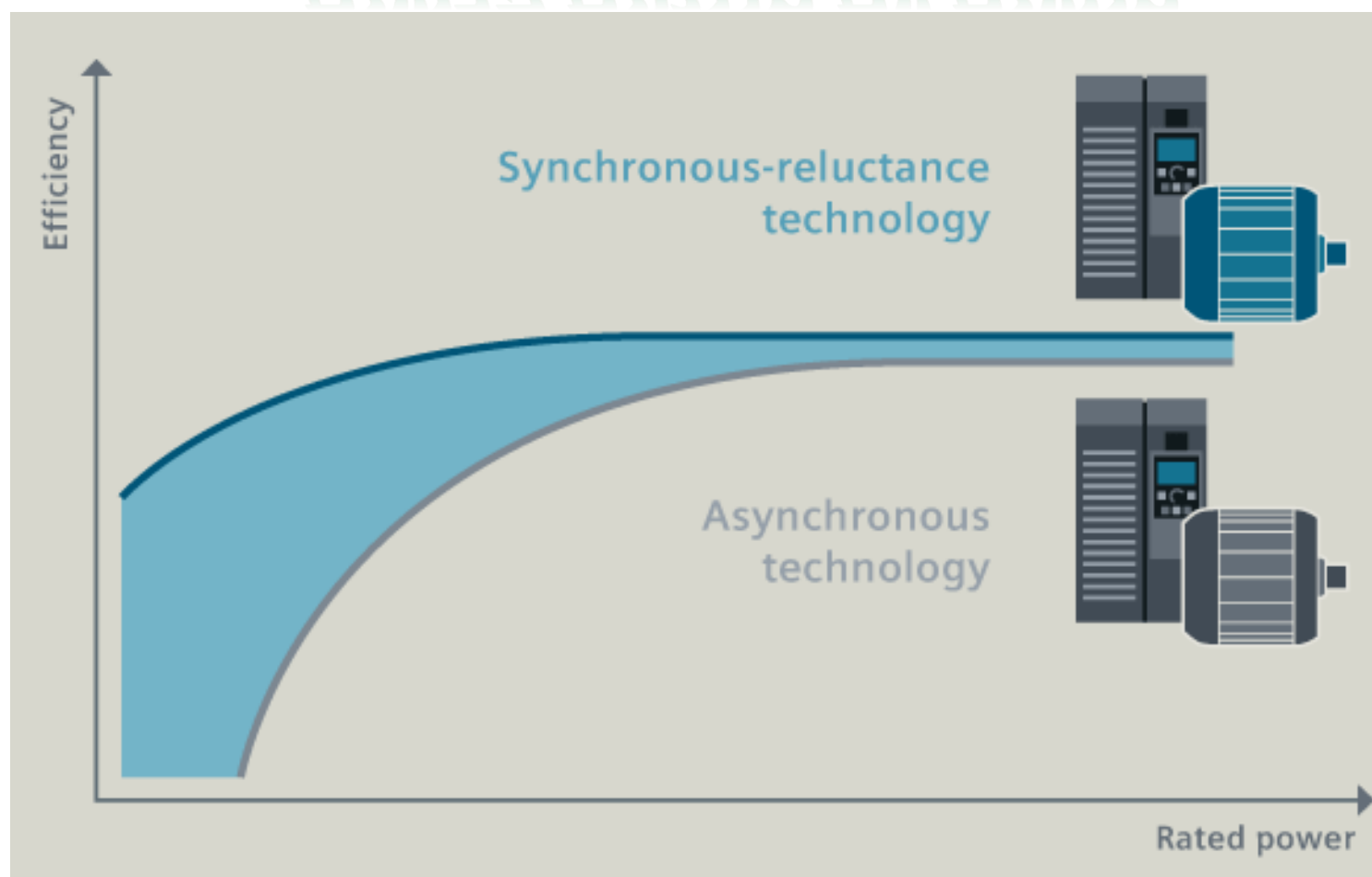
במנועים חשמליים

תודה על ההקשבה

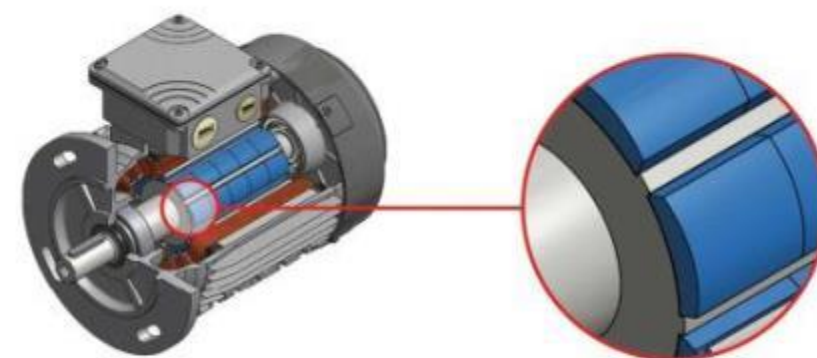
אהרון



מנועים עם מגנטים קבועים



מנועים עם מגנטים קבועים



SMPM DESIGN
SURFACE MOUNTED PERMANENT MAGNETS

מנועים עכבה ממותגת

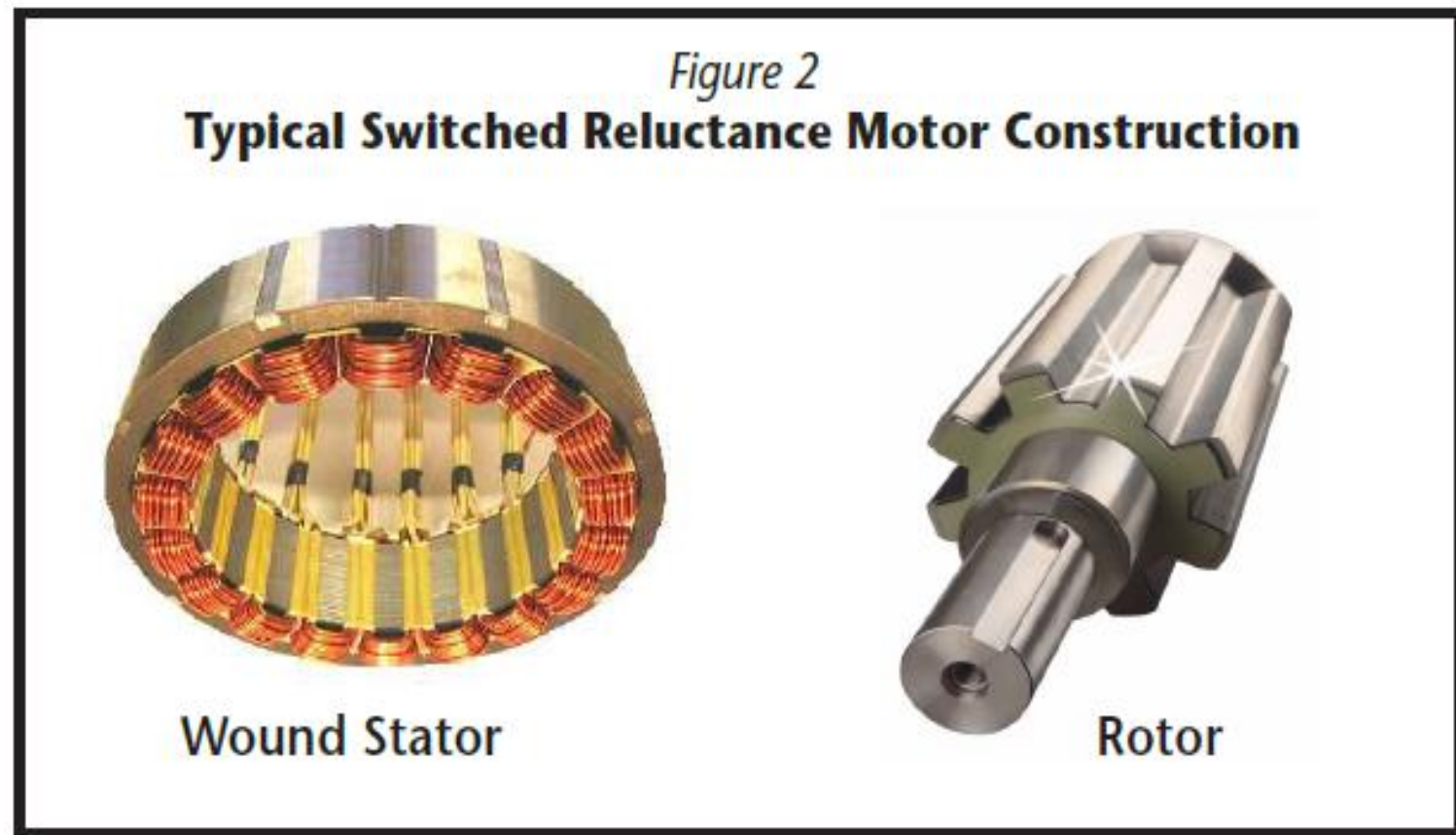


Table 1
Variable Speed Drive System Comparison
Source: Nidec Motor Corporation

Criteria	Induction Motors	Permanent Magnet (PM) Motors	Switched Reluctance (SR) Motors
Maturity of technology	3	2	1
Power density	1	3	2
High starting torque	1	3	3
Cool rotor	1	3	3
Pancake profile capabilities	1	2	3
Maximum speed	2	1	3
Maximum speed range: base to top speed ratio	2	1	3
High peak efficiency	1	3	2
Flat efficiency over a wide speed range	1	2	3
Loss of controls / effect of back Electromotive Force (EMF)	3	1	3
High temperature capability	3	1	3
Noise, vibration	3	3	2
Torque ripple	3	2	2
Robust, fault tolerance	1	1	3
Sensorless control capability	2	2	3
Low Apparent Power (VA) demand	1	2	3

3 = Best

2 = Average

1 = Worst

מגנטים עם קבועים

