

# איכות אספקת החשמל

Power Quality



חברת החשמל

ניהול וליווי הפרויקט: מהנדס נוראני שגיב,  
המחלקה ליעול הצריכה, אגף השיווק, חברת החשמל

איכות אספקת החשמל - POWER QUALITY



# על איכות אספקת החשמל



איכות הפכה להיות נושא הדגל של הכלכלה המודרנית ותנאי מוקדם ליחסים תקינים בין הלקוח והספק בכל תחומי המעק, ובכלל זה אספקת החשמל. נושא איכות אספקת החשמל מעסיק כיום את כל חברות החשמל בעולם, ארגונים וגורמים אחרים הקשורים אליו בצורה זו או אחרת.

באופן עקרוני, תפעולם של כל מתקן או ציוד חשמלי עלול להיפגע מאיכות אספקת החשמל ירודה, החל מקווי הייצור בתעשייה וכלה במחשבים אישיים, מכשירי וידאו וכד'. מידת הפגיעה תלויה בגורמים רבים וביניהם רגישות הציוד או תהליך הייצור להפרעות באספקת החשמל.

## למזלנו, ברוב המקרים ההפרעות מהוות מטרד בלבד!

נושא איכות אספקת החשמל אינו נושא חדש, והוא קיים מאז המצאת החשמל והשימוש בו כמקור אנרגיה. אולם, נושא זה זוכה לתשומת לב מיוחדת בשנים האחרונות, עקב השימוש המתרחב בציוד אלקטרוני חדיש בכל מגזרי המעק, שתפעולו התקין של חלק גדול ממנו תלוי באיכות אספקת החשמל.

ההתפתחויות הטכנולוגיות והמגמה התחרותית ההולכת וגוברת בכל תחומי המעק, הביאו ליצירת סטנדרטים חדשים של איכות מוצרים ושירותים. דבר זה הביא את חברות החשמל בעולם וביניהן חברת החשמל לישראל, להשקיע משאבים רבים בשיפור איכות אספקת החשמל ללקוחותיהן. זאת, במסגרת מדיניותן השיווקית להיענות לציפיות הלקוחות עד כמה שניתן.

אולם, אין כל אפשרות מעשית לספק חשמל באיכות אידיאלית, העונה על כל דרישות הלקוחות, הואיל ולשם כך יידרשו השקעות עתק במערכת אספקת החשמל. מבחינה כלל-משקית, אין כל הצדקה בהשקעות אלו כדי להשיג את רמת האיכות הנדרשת על-ידי קומץ צרכנים רגישים, כאשר הרוב המוחלט של צרכני החשמל אינם זקוקים לכך.

## שני צדדים למטבע - אנחנו ואתם

הפתרון האופטימלי מבחינה כלל-משקית הוא שילוב השיפורים במערכות חברת החשמל כך שרמתן תספק את רוב צרכני החשמל, יחד עם השקעה ממוקדת במתקני הצרכנים הרגישים. על הלקוח להיות מודע לעובדה זו, ומתוך שיקולים טכנו-כלכליים לנקוט בצעדים הנדרשים, כדי למזער את השפעותיהן השליליות של הפרעות החשמל על הציוד הרגיש.

עלון זה מכיל מידע כללי על איכות אספקת החשמל ומיועד בעיקר ללקוחות המגזר התעשייתי של חברת החשמל. בעלון מפורטים סוגים שונים של הפרעות באספקת החשמל, מקורן והשפעתן על הלקוחות ועל תהליכי הייצור והציוד בתעשייה. לצד הצגה תמציתית של תחומי פעילותה של חברת החשמל לשיפור איכות אספקת החשמל, מפורטים צעדים שעל הלקוח לנקוט לפני ואחרי הקמת מפעל או בשעת רכישת ציוד, כדי למזער את נזקי ההפרעות באספקת החשמל.

## על מה מדובר? הגדרות ומונחים עיקריים

הכרת מונחים מוסכמים ורלוונטיים הקשורים לאיכות אספקת חשמל ושימוש נכון בהם, מקלים מאוד על הבנה יסודית של הנושא ועל מתן פתרונות הולמים לבעיות. להלן פירוט מונחים והגדרות עיקריים.

### ערכים נומינליים וסטייה מותרת

הערכים הנומינליים של מאפייני איכות החשמל הם אלה שעל-פיהם צריך הלקוח לחכנן את מתקניו, כך שיפעלו לשביעות רצונו; זאת בהתחשב בסטיות המותרות שנקבעו באמנה שבין חברת החשמל ללקוחותיה או בדרך אחרת.

המאפיינים הטכניים של אספקת החשמל הם:  
- התדר הנומינלי בכל מערכות האספקה הוא 50Hz בגבולות של  $+0.5\%$  עד  $-0.6\%$ .

- המתחים הנומינליים בהדקי הלקוח:  
מתח נמוך 230 וולט / 400 וולט 10%  
מתח גבוה 12.6 ק"ו, 22.0 ק"ו, 33.0 ק"ו 10%

במקרים חריגים ייתכנו סטיות מסטנדרטים אלה.

### איכות אספקת החשמל (Power Quality)

קיימות הגדרות שונות לאיכות אספקת החשמל, הנגזרות מתחומים מוגדרים הכלולים בנושא. באופן כללי ניתן לומר, כי איכות אספקת החשמל היא מונח החובק את מכלול האפיונים של אספקת אנרגיה חשמלית ללקוח. בנוסף מבטא המונח את מידת השפעתם של מערכת אספקת החשמל ושל המשתמש הסופי בחשמל על ביצועי מתקן החשמל.

**אמינות האספקה (Reliability of Supply)**  
רציפות קיום המתח על הדקי הצרכן.

**לקוח (Customer)**  
אדם או ארגון הרוכש אנרגיה חשמלית מחברת החשמל.

**צרכן (Consumer)**  
מתקן חשמלי שנמצא בחצרי הלקוח.

**צרכן מתח נמוך [גבוה]**  
צרכן שמערכת המניה שלו מחוברת למתח נמוך (גבוה).

**הדקי הצרכן (Point of Common Coupling)**  
נקודת החיבור בין רשת חברת החשמל לבין מתקן הצרכן.

**סביבה אלקטרומגנטית (Electromagnetic Environment)**  
מכלול תופעות אלקטרומגנטיות הקיימות במקום מסוים.

**הפרעה אלקטרומגנטית (Electromagnetic Disturbance)**  
תופעה אלקטרומגנטית שעלולה לפגום בביצועיהם של ציוד, התקן או מערכת.

**תאימות אלקטרומגנטית (Electromagnetic Compatibility)**  
כולת של ציוד או מערכת חשמלית לתפקד בצורה נאותה בסביבה אלקטרומגנטית, מבלי לגרום להפרעות אלקטרומגנטיות בלתי-נסבלות לכל דבר באותה סביבה אלקטרומגנטית.

**סטייה מותרת (Permissible Deviation)**  
שינוי מרבי מותר מערכו הנומינלי של אחד ממאפייני איכות החשמל.

**הפרעת חשמל (Electrical Disturbance)**  
שינוי בערכו של מאפיין מעבר לסטייה המותרת.

**מתח נומינלי (Nominal Voltage)**  
מתח שמאפיין רשת לחלוקה ולמסירת חשמל מבחינת תכנון ותפעול וכן כערך ייחוס למאפייני מתח אחרים.

### **תת-מתח (Under Voltage)**

שערכו נמוך מ-90% מהמתח הנומינלי במשך למעלה מ-5 שניות.

### **מתח-יתר (Over Voltage)**

שערכו יתר מ-110% מהמתח הנומינלי במשך למעלה מ-5 שניות.

### **שקיעת מתח (Voltage-Dip, Sag)**

ירידה של מעל 10% ועד 90% במתח הנומינלי, הנמשכת בין 0.5 שניות לדקה אחת.

### **גלי מתח יתר (Transient Over Voltage)**

שינוי חולף באמפליטודת גל המתח מעל הסטייה המותרת שנמשך בין 10ms - 1s.

### **עיוות הרמוני (Harmonic Distortion)**

שינוי מחזורי בצורת הגל הסינוסואידלי הבסיסי של גל המתח או של הזרם.

### **אסימטריה של מתחים (Voltage Unbalance)**

חסר שוויון וקטורי במערכת מתחים תלת-פאזית.

### **תנודות מתח (Voltage Fluctuation)**

שינויי מתח חולפים, אקראיים או מחזוריים.

### **הפסקת חשמל (Power Interruption)**

ירידה בעוצמת המתח האפקטיבי עד לערך של 0 וולט בקירוב.

#### **- הפסקה קצרה (Short Interruption)**

הפסקה לפרק זמן של עד 180 שניות.

#### **- הפסקה חולפת (Transient Interruption)**

הפסקה קצרה לפרק זמן של עד 0.5 שניות.

#### **- הפסקה ממושכת (Long Interruption)**

הפסקת חשמל לפרק זמן שעולה על 180 שניות.

#### **- הפסקה מתוכננת (Planned Interruption)**

הפסקת חשמל ממושכת לצורך ביצוע עבודות במערכת.

# סמיות מהערכים הנומליים ומקורן

סמיות מערכים נומליים של מאפייני האנרגיה החשמלית המתרחשות מדי פעם הן תופעה טבעית בכל מערכת ציבורית לאספקת החשמל.

גורמי הסמיות רבים, והן מתחלקות על-פי מקורן לשתי קבוצות:

א. סמיות שמקורן ברמות ההעמסה ובאפיוני מערכת הייצור, ההשנאה, החלוקה והמסירה של החשמל וכן בתקלות המתרחשות במערכות אלה עקב ברקים, רוחות, שרפות, פגיעות בקווי רשת וכו'. ריחוקו של הצרכן ממקור הזינה (תחנת המשנה) משפיע גם הוא על רמת סמיות המתח.

ב. שיוניים שמקורם בצידוד החשמלי המופעל אצל הלקוחות, אשר במהלך פעולתו התקינה גורם להפרעות ברשת אספקת החשמל, וביניהן: תנודות עומס, עיוות הרמוני והבהובי מתח.

## סמיות מתח

המתח הנומלי בהדקי הצרכן יכול להשתנות באופן אטי, כמו במקרים של תת-מתח ומתח-יתר, או באופן מהיר במקרים של שקיעת מתח, גלי מתח-יתר ותנודות מתח.

הגורם העיקרי לשיוני מתח אטיים הם שיוניים בעומסי הצרכנים המזנים מרשת החלוקה. במהלך שיוניים אלה משתנה העמסת הקווים (דבר הקורה באטיות לאורך היממה), וכתוצאה מכך משתנה מפל המתח לאורך הקווים ועמו המתח בהדקי הצרכן. שיוני מתח אטיים על הדקי הצרכנים ברשתות מתח גבוה ונומך עשויים להגיע עד 10% . ערך זה נקבע במדינות אירופה ובישראל כסמיות מתח מרבית.

לעתים גורם ניתוק מוליך האפס עקב תקלה לשיוני מתח אטיים. במקרה זה, הצרכנים המחוברים אחרי נקודת הניתוק מזנים ב"זינה צפה", והמתח הפאזי שלהם תלוי באיזון העומסים בין הפאזות. בפאזה העמוסה ביותר, המתח עלול לרדת בעשרות אחוזים מתחת למתח הנומלי, ולהיפך - בפאזה עמוסה במידה מינימלית, המתח עולה. הסיבה לניתוק במוליך האפס היא פגיעה מכנית ברשת החשמל או שחרור מוליך האפס ממהדק הרשת.



## תת-מתח

תת-מתח מופיע בדרך כלל בשעות העומס בקו מתח נמוך, עקב מפל מתח עליו (קו ארוך ו/או שטח חתך נמוך) וכתוצאה מניתוק פאזה או שרפת נתיך בצד מתח גבוה של שנאי. תת-מתח עלול להיווצר גם עקב כיוון שגוי של מחליף דרגות (Tap Changer) שנאי החלוקה.

## מתח יתר

מתח יתר מופיע בדרך-כלל בשעות השפל בנקודות חיבור של צרכני מתח נמוך, הנמצאים בקרבת שנאי החלוקה. מתח יתר מופיע גם עקב גודל לא מתאים של קבלים לתיקון מקדם הספק ( $\cos$ ) במתקני הצרכנים וכיוון שגוי של מחליף דרגות שנאי החלוקה.

## שקיעות מתח

שקיעות מתח נובעות משני מקורות עיקריים - רשת החשמל ומתקני הצרכנים:

- שקיעות מתח שמקורן ברשת החשמל (רשת המסירה והחלוקה של חברת החשמל ורשת החשמל של הלקוחות) נוצרות עקב קצרים בין הפאזות. שקיעות אלו נושאות אופי אקראי ובלתי-צפוי, ולכן לא ניתן לשלוט בהן.

- שקיעות מתח שמקורן במתקני הלקוחות נוצרות עקב תנודות עומס חזקות, כגון: הנעת מנועים חשמליים גדולים, הנעת מכוונות המאופיינות בעומסים משתנים לסירוגין בקצב גבוה וכו' (בהנעת מנועים גדולים יכולה להיווצר שקיעת מתח במשך 0.1-5 שניות).

## גלי מתח יתר

גלי מתח יתר מופיעים באופן אקראי ברשת החשמל בכל רמות המתחים, ממתח נמוך ועד מתח-על. הסיבה העיקרית להופעת גלי מתח יתר (קפיצות מתח) היא פגיעת ברקים ברשתות עיליות. ערכו של גל מתח יתר שנוצר במקרה כזה הוא עשרות קילו-וולטים, והוא מתפשט לאורך הקווים ופוגע בדרגות חלשות של הבידוד. סיבה נוספת להופעת גלי מתח יתר היא מיתוג עומסים ריאקטיביים כגון: קבלים, מנועים, שנאים וכד', וזאת בעיקר במתח גבוה ובמתח עליון.

חברת החשמל מתקניה מגני ברק בנקודות שונות של רשתות מתח גבוה, כדי להגן על ציודה החשמלי מפני נזקים ולהפחית ככל שניתן את עוצמת הגל המתפתח. יחד עם זאת, על הלקוח לצייד את מתקניו בהגנות מתאימות, כדי למנוע נזק לציוד הרגיש למתח יתר.

## תנודות מתח

תנודות מתח, בדומה לשקיעות מתח, נובעות משינויי עומס מהירים במתקני הצרכנים. תנודות מתח מסווגות לתנודות מחזוריות, שמקורן בהפעלת עומסים משתנים גדולים יחסית ובמחזוריות: מדחסים ומשאבות וכן תנודות אקראיות שמקורן בהפעלת עומסים לא ליניאריים, כגון רתכות ותנודי קשת.

## הרמוניות

הרמוניות נובעות מעיוות הצורה הסינוסית של גל המתח או הזרם, כתוצאה מהפעלת התקנים בעלי אפיון מתח זרם לא ליניארי, וביניהם: קונברטורים (Converters), ספקי כוח המצוידים במיישר סיליקון מבוקר (S.C.R) או בתריסטורים, וסתי מהירות אלקטרוניים, תנודי קשת ושנאים רוויים. התקנים אלה, הפועלים ברובם אצל הלקוחות, יוצרים גלים הרמוניים, שתדירותם כפולות שלמות של תדר הרשת (50 הרץ). גלים אלה חודרים לרשת אספקת החשמל וגורמים לעיוות הצורה של גל המתח ולתפקוד לא תקין של מתקני הלקוחות האחרים.

## שינויי תדר

שינויי תדר מעבר לסטיות המותרות הם תופעה ממושכת יחסית, המתרחשת לעתים רחוקות מאוד. המקור העיקרי של התופעה הוא ערעור, שחל באיון בין מערכת יצירת החשמל לבין מערכת צריכת החשמל.

## אסימטריה של מתחים

אסימטריה של מתחים (אי-איזון המתחים) במערכת אספקת חשמל תלת-פאזית נחשבת כהפרעת חשמל, שכן היא עלולה לפגוע בפעולתו התקינה של ציוד חשמלי. הגורמים העיקריים להיווצרות אסימטריה של מתחים הם:

- קצרים א-סימטריים.
- העמסה לא מאוזנת של פאזות שונות ברשת תלת-פאזית.
- תקלה בשנאי החלוקה וליקויים בהארקת השיטה של השנאי.

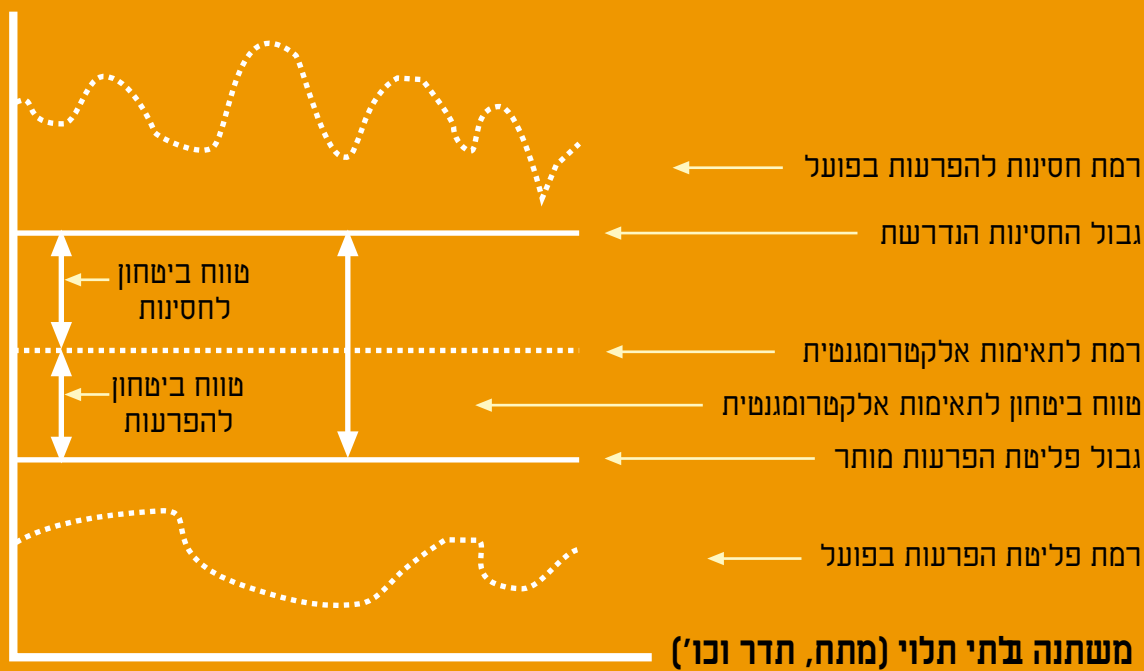
## תאימות אלקטרומגנטית

תאימות אלקטרומגנטית היא חלק אינטגרלי וחשוב לנושא איכות אספקת החשמל, ומהווה חוליה המקשרת בין רשת חברת החשמל ובין מתקני הצרכנים. מחד, מבטאת התאימות את יכולת ההתקן, המכשיר או הציוד החשמלי לתפקד בצורה נאותה בגבולות הסטיות המוסכמות (של מתח, תדר וכו'), ומאידך, היא מגבילה את ההתקן בגרימת הפרעות לרשת החשמל.

תפקוד תקין של ציוד, מכשור או מערכת דורש התאמה בין רמת ההפרעות המשפיעות על הציוד ובין רמת חסיונותם מפניהן (ראה איור 1).

איור 1: גבולות להפרעות ולחסיונות בתחום תאימות אלקטרומגנטית

רמת  
הפרעה



## הפסקת חשמל

הפסקת חשמל מבטאת את אמינות אספקת החשמל. מבדילים בין הפסקת חשמל קצרה (ובכלל זה הפסקה חולפת), שמשכה פחות מ-180 שניות ובין הפסקת חשמל ממושכת, שנומשכת מעל 180 שניות.

הפסקת חשמל קצרה נובעת בדרך כלל מקצרים לאדמה, המתרחשים בקווי הרשת העיליים כתוצאה משתי סיבות עיקריות:

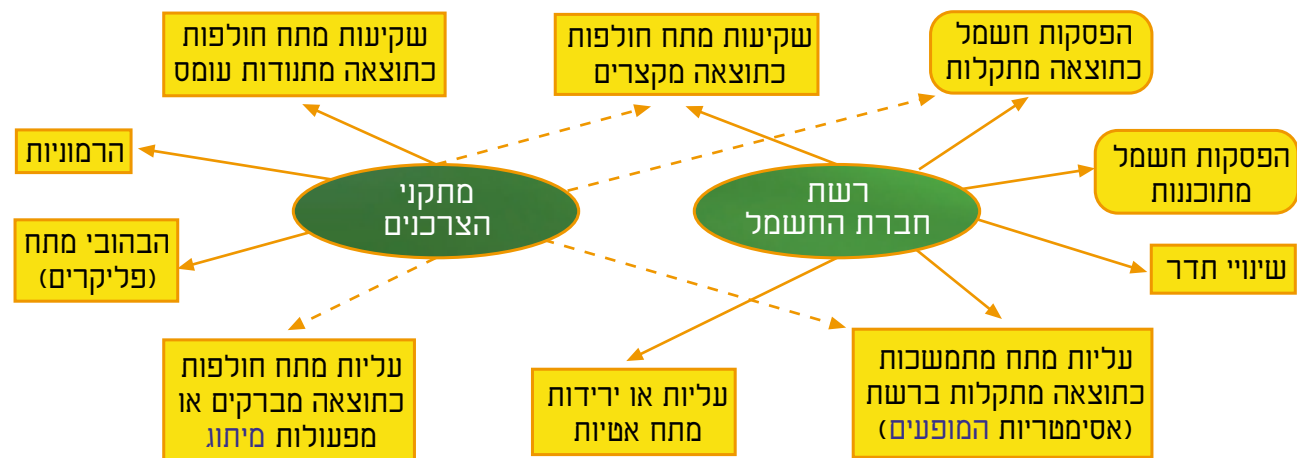
- גורמים אטמוספיריים, כגון: ברקים, רוחות חזקות, ערפל, גשם, שלג, ברד, זיהום מברדים וכו'.
- פגיעה של ענפים, ציפורים, שרפות וגופים זרים אחרים בקווי הרשת.

הפסקת חשמל קצרה נובעת לרוב מקצרים ברשת האספקה של חברת החשמל, אך לעתים גם מקצרים ברשתות העליות של הלקוחות, כגון: קיבוצים, מחנות צבא וכו'.

הפסקת חשמל ממושכת נובעת לרוב מתקלות ברשתות עליות או בכבלים תת-קרקעיים, שאיתורן ושיקומן אורך זמן.

הפסקת חשמל מתוכננת מיעדת בדרך-כלל לביצוע עבודות תחזוקה במערכת אספקת החשמל. לעתים רחוקות, עקב תקלות בתחנות כוח, בתחנות משנה וכד', נאלצת חברת החשמל לבצע עבודות אחזקה ממושכות, אשר כרוכות גם הן בהפסקות מתוכננות. טרם ביצועה של הפסקת חשמל מתוכננת, נמסרת ברוב המקרים הודעה ללקוחות החשמל (ראה איור 2)..

### איור 1: הפרעות חשמל עיקריות ומקורותיהן



הפרעות הקשורות לאיכות אנרגיית החשמל  
הפרעות הקשורות לאמינות אספקת החשמל


סיבות עיקריות  
סיבות משניות

# למה גורמות ההפרעות?

הפרעות באספקת החשמל עלולות לגרום להשבחת קווי הייצור, לעצירת מערכות שיוע ולעיכובים בעבודת המפעל. כתוצאה מכך, נגרמים ללקוחות נזקים ישירים ועקיפים, ולהלן פירוט חלק מהם.

## נזקים ישירים

- ירידה בתפוקה
- ירידה ברווחיות עקב פגיעה/הפסקה בייצור
- פגיעה בציוד הייצור (ישירה ומתמשכת)
- הפסד חומרי גלם
- עלייה בהוצאות כוח-אדם (להחלפת ציוד פגום, פינוי פסולת, ניקוי והכנת הקו לייצור מחדש וכו')

## נזקים עקיפים

- פגיעה בשירות ללקוחות (לרבות עיכובים באספקת תוצרת)
- חוסר שביעות רצון של לקוחות
- ירידה ו/או אובדן עסקאות
- פגיעה בכותרת התחרות
- שחיקה מצטברת וירידת מוטיבציה בקרב העובדים
- אובדן לקוחות נאמנים

למרבה המזל, רובם המכריע של צרכני החשמל - הביתיים, המסחריים והתעשייתיים, אינם רגישים באופן משמעותי להפרעות באספקת החשמל, וגם אם נזק הוא מזערי בלבד. עם זאת, וכפי שנראה בהמשך, קיימים צרכנים ותהליכים רגישים במיוחד לחרירות באספקת החשמל, ועבורם משמעותה של כל הפסקת חשמל, חולפת כמושכת, היא נזקים כבדים המחייבים היערכות מתאימה.

ציוד המזון מרשת החשמל אינו רגיש לכל סוגי ההפרעות, ועוצמת השפעתן עליו נושאת אופי הסתברותי. בטבלה 1 מוצגות השפעות אפשריות עיקריות של הפרעות באספקת החשמל על הצרכן.

טבלה 1: השפעות אפשריות של הפרעות באספקת החשמל על הצרכן

| הפרעה באספקת החשמל | השפעות אפשריות על הצרכן                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| מתח יתר            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- חימום יתר וקיצור משך חיי התקני החשמל</li> <li>- נזק לציוד אלקטרוני</li> <li>- היווצרות בועות בתהליכי קרינה תת-אדומה</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| תת מתח             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- תפקוד לקוי/שגוי של התקנים רגישים, שחרור מגנטי</li> <li>- ירידה בנצילות ובמשך חיי התקנים, כגון תנורים ומנועים מסוימים</li> <li>- הארכת משך הזמן של תהליכי חימום אוהמי ותת-אדום</li> <li>- הרס החומרה</li> <li>- עמעום נורות ליבון ובעיות בהדלקת נורות פריקה בגז</li> </ul>                                                                                                                                                                       |
| שקיעת מתח          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- חימום מנועים, קיצור משך חיי מנועים והמערכת המונעת</li> <li>- בעיות הנעה בדיסקטים ואיבוד נתונים לא מגובים</li> <li>- הבהוב התאורה והשעונים הדיגיטליים</li> <li>- שינוי גודל התמונה במסכי טלוויזיה, מחשב וכו'</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                          |
| גלי מתח יתר        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- הרס הציוד האלקטרוני (השפעה מצטברת)</li> <li>- הרס המנועים (פריצת בידוד) ושרפת נורות</li> <li>- שיבוש נתוני מחשב</li> <li>- שיבושים בתפעול ההתקנים (במיוחד אלה שכוללים מעבדי נתונים זעירים)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                           |
| הפסקת חשמל         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- מחיקת מידע שבזכרון המחשבים והבקרים</li> <li>- הפסקת הפעולה של ציוד חשמל לסוגיו</li> <li>- נזק לציוד</li> <li>- הפסקת תהליכי ייצור ואחרים</li> <li>- אובדן ייצור, הפסדים ישירים ועקיפים שונים הקשורים להפסקות החשמל</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                   |
| הפרעה באספקת החשמל | השפעות אפשריות על הצרכן                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| הרמוניות           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- הרס רציני של קבלים (חיתכן התפוצצות) ושנאים</li> <li>- ירידה בביצועי המנועים (ירידה בנצילות, חימום יתר, קפיצות במומנט)</li> <li>- הפעלה בטרם זמן (שגויה) של מכשירים ושל התקני בקרה ומיתוג.</li> <li>- שכוללים מיישר סיליקון מבוקר (SCR)</li> <li>- פגיעה במחשבים, קריאה שגויה של קוצבי זמן מכניים ומוני חשמל</li> <li>- פיצוץ נתיכים, המהום הטלפון, הגברת ההרמוניה כתוצאה מתהודה ופריצות בידוד</li> <li>- הופעת פסים על מסכי טלוויזיה</li> </ul> |
| אסימטריה של מתחים  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- פגיעה בתפקוד הציוד התלת-פאזי כתוצא מעומס יתר</li> <li>- קיצור משך חיי הציוד האלקטרומגנטי (מנועים, שנאים וכו') עקב חימום יתר</li> <li>- במקרים קיצוניים יציאת ציוד מכלל שימוש עקב עומס יתר</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                            |
| שינויי תדר         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- תפקוד לקוי של קוצבי זמן (Timers), רשמי קול, פטיפונים, דיסקים וכו'</li> <li>- תפקוד לקוי של שנאי תהודה (Ferroresonant transformer)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| תנודות מתח         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- הבהוב התאורה</li> <li>- תפקוד שגוי של מנועי סרוו</li> <li>- ראה גם השפעות של מתח יתר ותת-מתח</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

## מי רגיש להפרעות באספקת חשמל?

באופן עקרוני, כל תהליך ייצור רגיש במידה זו או אחרת להפרעות באספקת החשמל ועלול להיזק מהן. מידת רגישותו של התהליך תלויה בעיקר באופיו ובסוג ההפרעה ורמתה. לרובם המוחלט של תהליכי הייצור רגישות נמוכה להפרעות באספקת החשמל, והן אינן גורמות להם בעיות מיוחדות או נזקים משמעותיים. אולם קיימים תהליכים, בעיקר תהליכים רציפים, שרגישים מאוד לאספקת חשמל באיכות ירודה (הפסקות חשמל לדוגמה), הגורמת להם נזקים כבדים. בין אלה ניתן למנות תהליכי ייצור של זכוכית, פלסטיקה, חצאי מוליכים וכו'.

כמו כן, קיימים הבדלים גדולים בין רמות הרגישות של תהליכי ייצור שונים, השייכים לאותו תחום תעשייתי. כדי להמחיש זאת, מובאים בטבלה שלהלן סיווג תהליכי ייצור בתעשיית הפלסטיקה ורגישותם להפסקות חשמל.

| מעל 10 דקות | מחצי שניה עד 10 דקות | פחות מחצי שניה | משך הפסקת החשמל          |
|-------------|----------------------|----------------|--------------------------|
|             |                      |                | תהליך הייצור             |
| נזק כבד     | נזק כבד              | נזק כבד        | ניפוח שרוול וייצור יריעה |
| נזק כבד     | נזק כבד              | נזק קל         | צינורות ולוחות           |
| נזק כבד     | נזק כבד              | נזק לא משמעותי | פרופילים                 |
| נזק כבד     | נזק קל               | נזק לא משמעותי | ניפוח בתבנית             |
| נזק כבד     | נזק קל               | נזק לא משמעותי | הזרקה                    |

טבלה 2: רגישותם של תהליכי הייצור שונים בתחום הפלסטיקה להפסקות באספקת חשמל

## מה עושה חברת החשמל להעלות איכות אספקת החשמל?

אחד היעדים החשובים שהציבה לעצמה חברת החשמל במסגרת המדיניות העיווקית ממוקדת-הלוקח שאותה אימצה, הוא אספקת חשמל ברמת האיכות והאמינות הגבוהה ביותר הניתנת להשגה (בהתחשב במגבלות טכניות וסביבתיות). החברה שואפת להגיע בטווח זמן קצר לאיכות אספקת חשמל ברמה המקובלת בחברות חשמל מתקדמות באירופה.

מזה מספר שנים מופעלת תכנית לשיפור מערכת חלוקת החשמל, בעלות כוללת של למעלה ממיליארד דולר. פעולות החברה בתחום זה כוללות:

- תגבור תחזוקת רשתות וחדוש קווים שהתיישנו.
- הרחבת אוטומציה ברשתות חלוקה עיליות ותת-קרקעיות.
- הרחבת עבודות תחת מתח חי.
- זירוז התקנת אמצעים לאיתור תקלות ולפיקוח מרחוק.
- המשך מעבר לרשתות מתח גבוה ומתח נמוך עיליות מבודדות.

חברת החשמל החליטה לשים דגש מיוחד על טיפול בנושא הפרעות באספקת החשמל במפעלים שבהם תהליכים רציפים. במסגרת זו עורכת החברה ימי עיון והרצאות ומפיקה חוברות הדרכה, דפי מידע ועוד. כמו כן, פעלה החברה בשיתוף עם התאחדות התעשייתיים למזעור נזקי הפרעות באספקת חשמל בשני מפעלים רגישים. מפעלים אלה משמשים כ"מפעלי הדגמה", וכל המעוניין ללמוד על הצעדים שנוקטו בהם מוזמן לבקר בהם ולהתרשם מקרוב מהפעולות שבוצעו.

במסגרת שיפור השירות ללקוח, מסייעת חברת החשמל ללקוחות בניטור הפרעות באספקת החשמל לפי בקשתם ובמתן מידע מלא ומוקדם ככל האפשר על הפסקות מתוכננות ועל תקלות במערכת אספקת החשמל. כמו כן, שואפת החברה לספק ללקוחות מידע כללי על מאפייני קווי האספקה.

## איך ניתן למזער נזקי הפרעות חשמל במתקני הצרכנים?

כאמור, הפתרון האופטימלי למזעור נזקי הפרעות באספקת החשמל הוא נקיטת אמצעים במתקני הצרכנים הזקוקים לכך, יחד עם שיפורים במערכות חברת החשמל. יש להדגיש, שהפתרונות הטובים ביותר לרוב נזקי ההפרעות ניתנים לביצוע במתקן הלוקח ולא במתקני החברה. עובדות אלה, המקובלות על חברות החשמל ועל לקוחותיהן בארצות המתקדמות בעולם, חייבות להוות בסיס לפעולה גם בארץ.



מנחונים מהימנים שנאספו בחברת החשמל עולה, כי חלק גדול מהמפעלים הרגילים בארץ לא דאגו מראש לרכוש ציוד המוגן מהפרעות באספקת החשמל, וזאת למרות שציוד כזה נמצא בהישג ידו של כל דורש. כמו כן, לא נקטו המפעלים אף צעד מעשי למזעור הנוזקים הנובעים מהפרעות באספקת החשמל, הגם שלעיתים מדובר באמצעים פשוטים וזולים למדי. מצב זה נובע בחלקו מחוסר מודעות המפעלים לכך, שאין מקום בעולם בו איכות אספקת חשמל מושלמת ו"נקייה מכל הפרעה", וכן מגישה מוטעית, שלפיה האחריות לפתרון הבעיות היא רק של חברת החשמל.

יצרני ציוד הרגיש להפרעות באספקת החשמל, כגון מערכות לעיבוד נתונים או סוגים שונים של ציוד אלקטרוני, מודעים היטב לבעיות אלה ועוסקים בפיתוח אמצעים, המקטינים את רמת רגישותו של הציוד להפרעות באספקת החשמל. ניתן לחלק את האמצעים הללו לשתי קבוצות:

- אמצעים שמתקין היצרן בציוד כחלק אינטגרלי ממנו (Built in). כגון: מסננים למיניהם, שנאי בידוד, וסתי מתח, מגני מתח- יתר וכו'.
- אמצעים שהלקוח חייב להתקין באופן עצמאי, במידה שהגיע למסקנה כי שכיחות ההפרעות והיקפן עלולים לגרום לנזקים המחייבים התקנת אמצעי מיגון בציוד.

לקוח המשתמש בציוד הרגיש להפרעות באספקת החשמל, חייב להיות מודע למגבלות הרגישות של הציוד, ולהתקין במקרה הצורך אמצעים חיצוניים נוספים למזעור הנוזקים. קיים מגוון אמצעים למזעור נזקי הפרעות באספקת החשמל, חלקם זולים ופשוטים יחסית: מסננים, שנאי בידוד, קוצבי זמן, וסתי מתח וכו'. במקביל מצויים אמצעים משוכללים ויקרים יותר, כגון יחידות אל-פסק (U.P.S), אשר מפרידות בצורה גלוונית את הציוד הרגיש מרשת אספקת החשמל. פירוט האמצעים למזעור נזקים ואופן יישומם בהתאם לסוגי הפרעות שונים, יובאו בעלוני הדרכה נפרדים.

## חשוב לבדוק חלופות ביסודיות ולבחור בחלופה האופטימלית

עובדת רגישותם השונה של תהליכים וציודים להפרעות באספקת החשמל מביאה לידי כך, שלא תמיד כדאי להשקיע משאבים גדולים בפתרון גורף של כל הבעיות. דרך הפעולה הנכונה היא מציאת פתרון אופטימלי לכל מקרה ומקרה, כלומר להתאים לכל ציוד / קו ייצור / תהליך / מפעל את האמצעים לפי תכונותיו ומאפייניו. בתהליך התאמה זה חשוב להפעיל שיקולים טכנו-כלכליים מעמיקים, כמו משמעותם הכלכלית של הנוזקים כנגד עלות ההשקעה במינעתם. למטרה זו יש להיעזר באיש מקצוע בעל ידע וניסיון מוכח בנושא.

לשם העגת הפתרון האופטימלי, הכרחי לאסוף תחילה את הנתונים הבאים:

- הנתונים הנקובים של הציוד הרגיש מבחינת התאימות האלקטרומגנטית, כגון: ספיות מתח, עיוות הרמוניות, אי-איזון המתחים ואופן תפקודו בזמן הפסקת חשמל חולפת ואחריה.

- הסתברות התרחשותן של הפרעות חשמל במקום התקנת הציוד, או לחילופין ביצוע מדידות ורישומים בשטח.  
- העלכות כלכליות (עלות הנוקים), הנובעות מהפרעות באספקת החשמל.

לאחר איסוף הנתונים יש לבחון חלופות של פתרונות טכניים, כולל בדיקת ההשקעה הנדרשת לרכישת כל חלופה ביחס לחיסכון הכספי שיושג הודות לשימוש בה. תמונה מלאה של הנתונים הנ"ל תאפשר בחירת החלופה האופטימלית.

בעת רכישתו של ציוד חדש (ייצור/אחר) כדאי להשוות דגמים של יצרנים שונים ולכלול בשיקולים הטכנו-כלכליים את מידת חסינותם בפני הפרעות באספקת החשמל. גורם זה מן הראוי שיזכה למשקל רב ולהתייחסות רצינית: לא די בקריאת נתוני הציוד כפי שהם מופיעים בקטלוג היצרן, אלא יש לבדוק לעומק, על-פי הערשטותים הטכניים הנלווים לציוד, אילו אמצעים נקט היצרן בתחום זה. במקביל מומלץ להיעזר בצרכנים שרכשו ציוד זהה, ושניתן ללמוד מניסיונם בפועל על תפקודו בתנאי הפרעות באספקת חשמל.

קיימים מקרים, שהציוד המחובר לרשת הפנימית של הלקוח הוא שגורם להפרעות באספקת החשמל. כך למשל, שקיעות מתח כתוצאה מהנעה ישירה של מנועים גדולים, ייצור הרמוניות עקב שימוש במישורים ובווסתי מהירות וכד'. במקרים כאלה על הלקוח לפעול לצמצום ההפרעות המופיעות ברשת הפנימית תוך נקיפת אמצעים מקומיים, דוגמת שימוש במתניע רך להנעת מנועים גדולים, התקנת מסננים בנקודות כניסה של מיישרים וסתי מהירות וכד'.

תכנון נכון של רשת אספקת החשמל של הצרכן בעת הקמת המפעל או הרחבתו, עשוי לצמצם באופן משמעותי את רמת ההפרעות ולהקל על נקיפת האמצעים הנחוצים למזעור נזקי ההפרעות באספקת החשמל. דאגה לרמה נאותה של מעגלי הכוח והפיקוד, הזנת לוחות משנה של עומסים חיוניים ממקור אמין (למשל, ישירות מלוח ראשי) ובעיקר התקנת מערכת הארקה טובה ואמינה - יש בהם כדי לתרום רבות להפחתת ההפרעות. לעתים כדאי להפריד בין מעגלי הפיקוד למעגלי הכוח ולהזין את מעגלי הפיקוד ממקור הזנה אמין וקטן  $\bar{y}$  אל-פסק לדוגמה, וכך לפתור חלק גדול מהבעיות הקשורות בהפרעות החשמל. יש להקפיד על הוראות היצרן בכל הנוגע לאופן ההארקה של הציוד, שלעיתים מחייב הארקה נפרדת מיתר מערכות ההארקה.

## מערכת אל-פסק - מתי ואיך לרכוש?

כשרגישות הציוד להפרעות באספקת החשמל גבוהה, וכל האמצעים הפשוטים והזולים אינם מונעים שיבושים בתפקודו התקין, כדאי לשקול הצטיידות במערכת אל-פסק. לקוח אשר יזדקק לציוד זה, ייטיב לעשות אם יצבור מידע טכני וכלכלי מעמיק בנושא, הואיל וההשקעה היא בדרך-כלל גדולה ועלולה שלא להצדיק את עצמה.

בבחירת האל-פסק יש להקפיד על גודלו האופטימלי הנחוק, תוך התחשבות בפיתוח העתידי של המפעל (הציוד אשר יוזן ממנו) ובאופן שילובו במערכת אספקת החשמל. כמו כן, יש לתת את הדעת על אמינות הציוד ועל שכיחות התקלות בו. חשוב לבדוק היטב האם הציוד מסוגל לענות על דרישות הלקוח, דהיינו, להבטיח את אמינות אספקת החשמל בעת הצורך, מבלי שהוא עצמו יהווה מטרד תחזוקתי.



לפרטים נוספים נא להתקשר  
למהנדס נוראני שגיב,  
המחלקה ליעול הצריכה,  
אגף השיווק של חברת החשמל  
טל: 04-8182685



חברת החשמל

הופק על ידי יחידת התקשורת קשרי הציבור והפרסום - בשיתוף המחלקה ליעול הצריכה אגף השיווק - חברת החשמל