פרק 1
תכנון תאורה

1. תכנון תאורה:

1.1מטרות התכנון:

מטרת התכנון של מתקני תאורה היא ליצור תאורה המבטיחה ראיה טובה ותנאים נוחים לעבודה ולשמור על כושר הראיה של העין תוך שמירה על מסגרת הוצאות נמוכות.

כדי לקיים מטרה זו יש לקיים מספר תנאים:

א. מניעת סינור
ב. הבטחת עוצמת הארה מספקת בהתאם לעבודה או העיסוק במקום
ג. פילוג מתאים של צלליות
ד. צבע אור מתאים לעבודה או לעיסוק
ה. כלכליות המתקן
ו. תפקוד יעיל ובטוח,בהתאם לזמן מקום וסוג העיסוק המתבצע בו.

הגורמים המשפיעים על תאורת פנים:

א. מידות האולם – רוחב,אורך,גובה,שטח
ב. סוג העיסוק במקום ובהתאם לזה עוצמת הארה הדרושה
ג. מקדמי החזרת האור מהתקרה והקירות
ד. תנאי סביבה-אדים ,עשן,אבק,רטיבות.
ה. סוגים שונים של מקורות אור
ו. סוגים שונים של גופי תאורה
ז. מיקום של יחידות התאורה

1.2 גופי תאורה:

גופי התאורה מכוונים את האור למקור שבו הוא דרוש מונעים סינור ומגנים על הנורה מפני פגיעה. גופי התאורה כוללים תושבת לנורה בתי נורה, אביזרים לקביעת הגופים במקום, חיווט פנימי,מהדקי חשמל, משנקים,מלקים וכול יתר האביזרים הדרושים להפעלתם התקינה כיחידת תאורה אחת.

הייעוד והתפקוד של יחידות התאורה קובעים למעשה את סוג החומרים,הצורה והמבנה של גופי התאורה. המראה החיצוני של גוף התאורה נבחר לפי שיקולים ארכיטקטוניים ואסטטיים.

קריטריונים נוספים לבניית גופי התאורה הם בטיחות בהפעלה אורך חיים ארוך גישה נוחה והוצאות ייצור ואחזקה נמוכות.

גופי התאורה בנויים משני מרכיבים:

א. האחד משמש להקניית תכונות תאורה מתאימות.
ב. והשני משמש לבניית הגוף ולאספקת מתח לנורה

1.3 שיקולים המנחים בבחירת התאורה הרצויה:

1.3.1 בחירת רמת הארה:

רמת ההארה מוגדרת כצפיפות השטף אור על יחידת שטח אור, רמת ההארה מחושבת ע"י הנוסחא:

$$E = \frac{\emptyset\,[lm]}{A\,[m^2]}$$

כמו כן מוגדרת ע"י תקנים בהתאם לסוג הפעילות הנדרש בסביבה (קיימות רמות הארה מומלצות עבור תאורת פנים במקומות שונים כגון: חדר מנהל ,חדר אוכל, בית כנסת, מעבדה, וכו. עפ"י תקנים ישראליים גרמניים ובריטים).

כמו כן קיימות נוסחאות נוספות לחישוב רמת הארה –בתאורת חוץ:

$$E\alpha = \frac{L\alpha \cdot \cos\alpha}{R^2}$$

$$E\alpha = \frac{L\alpha \cdot \cos\alpha^3}{H2}$$

Eα= רמת הארה

Lα= עוצמת אור

H= גובה מעל שטח ההארה.

R= רדיוס.

1.3.2 ניגודים וצללים:

כאשר מתכננים תאורה עבור מקום עבודה צריך לדאוג שהאור ייפול בניצב או קצת באלכסון מלמעלה על משטח העבודה באופן זה נקבל צל מועט שלא יפריע לעין במעבר ממשטח מואר למשנהו.

צללים מפריעים במיוחד כאשר הם נוצרים על ידי גופים נעים. כדי למנוע זאת מוסיפים תאורה מקומית על משטח העבודה ועל ידי כך מקטינים את ההפרעה.

כדי למנוע ניגודים בולטים יש לשמור על יחסים סבירים בבהיקות האזורים השונים.

1.3.3 סינור:

במקרים של סינור מתלונן אדם על עודף אור, צריבה בעיניים,עייפות עין ועוד. קיימים שני סוגים של תופעות סינור:

א. סינור פיסיולוגי- הנובע מהארת יתר של העין , למשל עקב מיקום לקוי של מקור התאורה.
ב. סינור פסיכולוגי- הנובע מהשתקפויות על חלון או מרקע של מחשב.

1.3.4 שיקולים כלכליים:

שיקול חשוב בתכנון מתקן תאורה הוא עלות המתקן ועלות השימוש בו. לעלות הכוללת יש כמה מרכיבים:

א. העלות הראשונית- מרכיב זה כולל את כל העלויות הקשורות במרכיבי המערכת ובזמן הקמתה כגון: כבלים אביזרי מיתוג עמודים התקני תאורה וכו.
ב. הוצאות תחזוקה-מרכיב זה כולל את עלות החלפים (בעיקר נורות וציוד עזר), ואת הוצאות העבודה הכרוכה בהחלפת נורות טיפול שוטף וכו
ג. הוצאות צריכת חשמל בזמן פעולת המערכת.

בסופו של דבר המטרה היא לתכנן מערכת שתספק את רמת התאורה הנדרשת בעלות הנמוכה ביותר.

1.3.5 צבע האור:

אם ניקח מקור אור בעל הספק של W1 ונתחיל בהדרגתיות לשנות את אורך הגל נראה שבתחילה לא נבחין כלל באור לאחר מכן נראה אור סגול והשינוי יהיה: סגול,כחול,ירוק,צהוב,כתום ואדום ולאחר מכן לא נראה כלום.

הרגישות המרבית של העין היא עבור הצבעים צהוב וירוק ולכן התאורה בצבע ירוק היא היעילה ביותר.

אם נשתמש באור הירוק בלבד יראו כל העצמים בצבעים הנוטים לירוק ולא לצבעים הטבעיים.
הצבעים הטבעיים הם אלו שאנו רגילים לראות באור יום. כדי להתקרב למצב זה עלינו ליצור מקורות אור מלאכותיים הדומים מבחינת הרכב הצבעים לאור יום.

1.4 הגדרות:

שטף אור: אנרגיה המוקרנת ע"י מקור אור בצורת אור שנראית לעין במשך שנייה.מסמנים באות Ø והיחידה (lm)

עוצמת תאורה: יחס בין שטף אור לבין השטח שעליו הוא נופל.

מסמנים באות E והיחידה (LUX)

דיאגראמת איזולקסים: חיבור של כל עוצמות התאורה השוות.

נצילות מרוק האור: יחס בין שטף אור להספק חשמלי.

נצילות גוף התאורה

1.5 עקומה פוטו מטרית (פולארית):

בתכנון תאורה פנימית ומקומית משתמשים בעקומה הפוטו מטרית לשם קביעת עוצמת הארה (E) בנקודות שונות. אם מנקודה מסוימת בה נמצא מקור אור נקודתי עם גוף תאורה ונעביר קרניים בכול הכיוונים במרחב כאשר לכל קרן עוצמת אור שונה ונחבר את הקצוות של הקרניים נקבל גוף מרחבי פוטומטרי.

צורתו תהיה סימטרית או בלתי סימטרית כתלות בצורת גוף התאורה.אם עוצמת האור הכול הכיוונים תהיה זהה הגוף הפוטו מטרי יהיה בצורה של כדור שבמרכזו תהיה נקודת אור .

רוב גופי התאורה הם סימטריים ולכן גם הגופים הפוטו מטריים הם סימטריים צורת העקומה המתקבלת כאשר חותכים גוף פוטומטרי שצורתו תפוח, בעזרת מישור מאונך העובר דרך הגבעול. עקומה פוטו מטרית שהיא מישורית מתקבלת מתוך הגוף הפוטו מטרי שהוא מרחבי.

אבל רוב גופי התאורה גם במשור העקומה היא סימטרית הערכים המתקבלים מהעקומה הם עבור 1000 לומן והם נמדדים בקנדלות.

התאמת מתקן התאורה לייעודו:

יש להבטיח שהמתקן יענה על הרישות ולעיתים לא יהיה מנוס מפשרות בהבטחת תנאים מסוימים, יכול למשל לקרות שעוצמת הארה במקום מסוים דורשת שימוש בנורות אחרות שהן נחותות לעומת נורת כספית..

1.6 תכנון תאורה חיצונית:

תאורה חיצונית יכולה לשמש לצרכים תעשייתיים, לתאורת גנים,מתקני ספורט, רחובות,דרכים וכבישים.

כאשר מדובר על צרכים תעשייתיים תפקיד התאורה לאפשר ביצוע עבודות בשטח חיצוני בשעות החשיכה , ואילו ברחובות ובכבישים התאורה צריכה לאפשר פעילות תוך תנועה חופשית ובטוחה של אנשים וכלי רכב באותן השעות.

1.6.1 מקדם אחידות:

היחס בין עוצמת הארה במקום המואר לבין זו שבמקום החשוך ביותר (חשוב שיהיה קטן ככול האפשר).

1.6.2 רמת אחידות עוצמת הארה ברחובות ובדרכים:

את רמת אחידות הארה משיגים באמצעות גופי תאורה מתאימים בעלי זוויות קרינה גדולות, או על ידי צפוף של גופי תאורה.

גם גובה התקנת גופי התאורה קובעת את מידת האחידות ברמת הארה, אך גובה זה נקבע בעיקר לפי קריטריון של עוצמת הארה מספקת ומניעת סינור ורק לאחר שקריטריון זה מובטח מותר לשנות את הגובה לשיפור אחידות הארה.

יש עוד לציין שלתאורת רחובות וכבישים נוהגים להשתמש במקרנים בלתי סימטריים המקרינים את האור ומונעים פיזור של האור אל מוץ לשולי אותה דרך.

את תאורת החוץ מחשבים ע"פי נשיטה הנקודתית.

$$EP = \frac{I\alpha \cdot \cos\alpha^3}{H^2}$$

1.7.1 נורת ליבון:

נורת אגס incandescent lamp

נורת הליבון משמשת כמקור אור הבסיסי הנפוץ ביותר בבתי מגורים. פעולתה מבוססת על עיקרון לפיו כל גוף מתכתי המתחמם לטמפרטורה גבוהה מתלבן ופולט חלק מהאנרגיה המושקעת בו בצורת קרינה הנראית לעין. הגוף המתכתי הוא סליל עשוי טונגסטן (וולפרם),הנמצא בתוך גוף מזכוכית ומוקף בגז אינרטי.

עקב נצילות האורית הנמוכה (היחס בין כמות האור הנפלטת מן הנורה לבין צריכת החשמל שלה בפרק זמן נתון) -8-20 לומן\וואט – נורת הליבון היא הנורה הבזבזנית ביותר בצריכת החשמל. פחות מ 5% מהאנרגיה המושקעת בנורה הופכים לאור וכול היתר לחום.

היתרונות העיקריים: הם פשטות ייצורה ומסירת הצבע המצוינת שלה

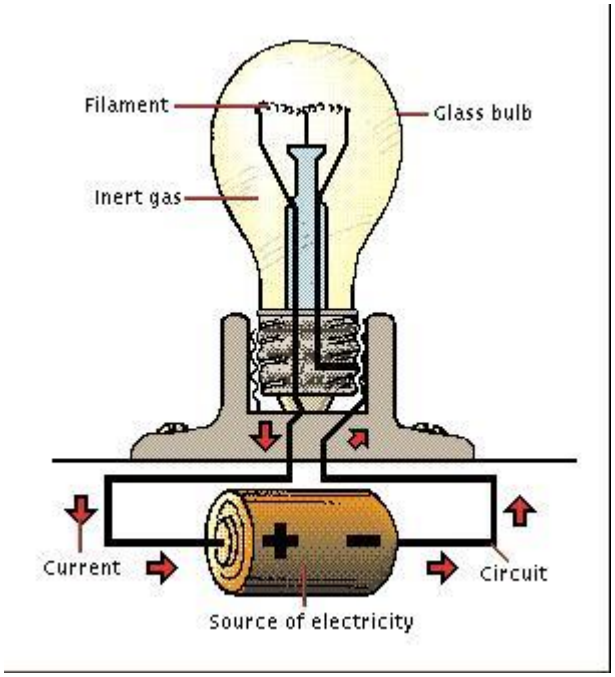
מסירת צבע: CRI- השפעת האור של הנורה על מראה הצבעים של החפץ.

חסרונותיה העיקריים: הם נצילות אורית נמוכה מאוד. המביאה לפיזור חום ולצריכת חשמל גבוהה ביותר ומשך חיים "קצר" יחסית (כ 1000 שעות).

הנצילות האורית של נורת הליבון עולה באופן משמעותי עם עליית ההספק שלה . ניצול תכונה זו מאפשר לחסוך בהוצאות.

כך למשל עדיף להשתמש בנורה אחת שהספקה גבוהה במקום שתי נורות שהספקן נמוך .

שימוש בנורה אחת של W100 במקום בשני נורות של W60 מאפשר חיסכון של 20% בצריכת החשמל ללא שינוי משמעותי כלל בעוצמת התאורה, וזאת בנוסף להוזלת עלות רכישת הנורות (נורה אחת במקום 2) וגופי תאורה.



1.7.2 נורות טונגסטן-הלוגן:

נורות טונגסטן-הלוגן או קוורץ יוד, היא הגרסה המתקדמת של נורת הליבון ומכילה בנוסף על גז אינרטי , גם כמות זעירה של יוד או של הלוגן אחר המשפר את תכונותיה.

נורת הלוגן בהשוואה לנורות הליבון, מצטיינות בתכונות הבאות:

שיפור בנצילות האורית ב כ 20%

משך חיים כפול 2000 שעות (לעומת 1000)

תפוקת אור וצבע יציבים יותר במשך חיי הנורה.

מסירת צבע טוב יותר

על אף שיפורים אלו נורת ההלוגן מאופיינת עדיין במשך חיים קצר יחסית ובצריכת חשמל גבוהה. עם זאת היתרונות של נורות ההלוגן לעומת נורות הליבון תרמו להגברת השימוש בהן. לרוב בשילוב של עמעם (DIMMER) המייעל את צריכת החשמל שלהן.

נורת ההלוגן קומפקטיות וזעירות למתחים נמוכים V6,12,24 משמשות לתאורה מרוכזת ודקורטיבית. להפעלתן נחוץ שנאי מוריד מתח,שגורם להפסדי אנרגיה עקב חימומו. יש להתחשב בהפסדים אלו כאשר משתמשים בנורות מסוג זה.

עוד חיסרון חשוב מאחר והנורה מאוד חמה בעת ההתפוצצות שלה זה דבר מסוכן מאוד



1.7.3 נורת נתרן בלחץ גבוה –נלג:

נורה בה נוצר האור ע"י פריקה של זרם חשמלי דרך אידי נתרן בלחץ גבוה.

הגודל הפיזי של הנורה קטן בהרבה ביחס לנורת הנל"ן. ולכן המנורות קטנות וקומפקטיות יותר.
עקב הגדלת הלחץ ישׁ פליטה בכול תחום הנראה, אולם עדיין מורגש הגוון הצהוב.

הנצילות האורית 80-150 לומן וואט.

נורה מנוצלת בעיקר לתאורת חוץ במתקנים מפעליים ובתאורת רחוב.



1.7.4 נורת נתרן בלחץ נמוך –נל"ן:

נורה בה נוצר האור ע"י פריקה של זרם חשמלי דרך אידי נתרן בלחץ נמוך.

זוהי הנורה היעילה ביותר!!!.

הנצילות האורית שלה 80-200 לומן וואט אולם האור שלה הינו חד צבעי בתחום הכתום-צהוב.
כל הצבעים מלבד הצהוב מעוותים את אורה של נורה זו. עקב כך השתמשו בה כמעט רק במתקני חוץ. היום ממעטים להתקין נורה זו.

1.7.5 נורת מטל הלייד:

עקרון פעולתה הוא זרם חשמלי באדי פחם או באדי מטל הלייד, הומצאה ביד סר המפרי דייבי בשנת 1801. מחייבת שימוש בנטל, שהוא אביזר חשמלי, המווסת את הזרם הנכנס לנורה. הניצולת החשמלית שלה 80-120 לומן לוואט. אורך חיים הנו 5000-8000 שעות. וגוון צבע לבן - כחלחל.
שימושים בנורה זו היא תאורה חיצונית בעיקר, במקומות בהם נדרשת העברת צבעים טובה כמו אצטדיונים, ושטחי מסחר.

1.7.6 נורה פלואורסצנטית:



נורה פלואורסצנטית קומפקטית

הנורה הפלואורסנטית, שהומצאה בידי הצרפתי ג'ורג' קלאוג בשנת 1911, על בסיס המצאת שפופרת הפלואורסנט בידי אנרי בקרל בשנת 1867.

לנורת הפלורוסנט ניצולת גבוהה של כ- 50-65 לומן לוואט. (נורת הפלואורסנטית סטנדרטית בהספק של W40 מפיקה 2,500 לומן) ואורך חיים שמגיע עד 10,000-15,000 שעות עבודה. נורה זו צריכה אביזרי עזר לשם הפעלתה כמו מתנע (סטרטר) ומשנק המחובר בטור לוויסות עוצמת הזרם לנורה. ישנן נורות פלואורסנטיות קומפקטיות הדומות יותר בגודלן (וחלק גם בצורתן החיצונית) לנורת ליבון, שהשימוש בהן הולך ומתרבה בשל ההספק הנמוך שלהן וההדלקה המהירה שלהן. ההדלקה המהירה נובעת משימוש בטכנולוגית מתנעים אלקטרוניים חדישה. הניצולת של הנורות האלה אף טובה מנורה פלואורסנטית רגילה.

1.7.6.1מבנה:

הנורה בנויה משפופרת של צינור זכוכית מוארך, המכילה גז, על פי רוב נאון, בלחץ נמוך מאוד. השפופרת מצופה מצידה הפנימי בציפוי זרחני שכאשר פוגע בו קרני אור אולטרא סגול, פולט אור בתחום הנראה לעין. בקצות השפופרת מותקנים חוטי להט לחימום ראשוני של הנורה שהופכים לאחר שלב ההתנעה ל- אנודה וקתודה, עוד חלק חשוב של המנורה הוא הכספית. הכספית שוכבת על גבי קרקעית הנורה ונועדה לעזור ביצירת הפלזמה שדרכה עובר הזרם החשמלי במנורה לאחר ההתנעה.

1.7.6.2 עקרון הפעולה:

שלא כמו במוליכים מוצקים אשר בהם החשמל זורם על ידי נדידת אלקטרונים מאטום אחד למשנהו, בגז החשמל זורם דרך אלקטרונים חופשיים וביונים. תערובת גז שמורכבת ברובה מאלקטרונים חופשיים ומיונים ומוליכה חשמל נקראת פלזמה. אחד המאפיינים של הפלזמה הוא שההתנגדות שלה להולכת חשמל נקבעת בנוסף לכל הפרמטרים הרגילים כמו: התנגדות סגולית, שטח חתך ואורך המוליך, גם על ידי הזרם שעובר דרכה. לפיכך, משתנה ההתנגדות בתוך השפופרת הפלואורסנטית בעת ההדלקה של הנורה.
עם חיבור הנורה לזרם החשמל, נבנה מתח גבוה, על ידי המשנק, בין האנודה לקתודה. בנוסף לכך, מחוממות הקתודה והאנודה, חימום זה מאדה את הכספית ובנוסף מספק לאלקטרונים שבגז אנרגיה נוספת העשויה להקפיץ אותם לרמת אנרגיה גבוהה יותר ואף לשחרר אותם מהאטום וליצור את הפלזמה המדוברת. בשלב זה, השדה החשמלי החזק שנוצר בתוך השפופרת כתוצאה מהמתח הגבוה מנתק את האלקטרונים ומושך אותם אל האנודה, ברגע זה, שמתחילה זרימה של זרם חשמלי דרך הפלזמה והזרם זורם דרך השפופרת נפסק חימום האנודה והאלקטרודה , המשנק מייצב את המתח וכך נוצר זרם חשמלי יציב בשפופרת.

בזרם חילופין מתאפס המתח 100 פעמים בשנייה (בתדר של 50 הרץ). כאשר המתח יורד נמצאים חלק מהאלקטרונים ברמת אנרגיה גבוהה, והם שואפים לחזור לרמת האנרגיה הנמוכה. בתהליך החזרה ייתכן שיפלט פוטון (תהליך הפלואורסנציה). אורך הגל של הפוטון הנפלט נקבע על פי מבנה האטום של הגז שנמצא בנורה. פוטון הפוגע בציפוי הזרחני שעל הדופן הפנימית של הנורה גורם לפליטת פוטון אחר בעל אורך גל בתחום האור הנראה.

1.8 חישוב תאורת פנים לבריכה:

תכנון תאורת פנים עבור הבריכה המקורה (שהיא חלק מהמבנה הראשי)

אורך: b=32.17M

רוחב:a=31.8 M

שטח החדר: אורךX רוחב=שטח

$$32.17 \cdot 31.8 = 1023.006\ M^2$$

גובה: 6M

חילקתי את שטח הבריכה ל 4 ריבועים שווים (כדי לעשות חלוקת תאורה מדויקת)

$\frac{1023.006}{4} = 255.75\text{m}^2$ גודל של מרובע יחיד

מידותיו של כל מרובע:

אורך b=16.05

רוחב: a=15.92

גובה בין התקרה למנורה: H2=1M

סוגי גופי התאורה הם תאורה ישירה

נבחר בחדר תאורת "כספית הלידית" (מטל-הלייד) תוצרת "דגן"- רשתות תאורה.

שם המנורה: "פולר פריזמטי IP-54"

כאשר נתוני הנורה הם:

גוף: יציקת אלומיניום

רפלקטור: אלומיניום פריזמטי

כיסוי: זכוכית

ציוד: אינטגרלי+וו תליה

צבע: שחור

נורות: עד M.H -W400,

HPS- 250W

מידות: Ø480 מ"מ, גובה: 458 מ"מ

שטף אור ונצילות של מקורות אור שונים

נורית כספית (לחץ גבוה)	שטף אור [ℓ m]	נצילות [ℓ m/W]
80 W	3400	39
125 W	5600	41
250 W	12000	45
400 W	21000	49

שטף אור 21,000 :lmØ

נצילות: 49ή

רמת הארה ב lux: נבחר רמת הארה מומלצת עבור הבריכה (לפי תקן של אולם התעמלות)

לפי תקן 889 ישראל E=300LUX

מקדם הפחתה K : עבור תאורה ישירה K=0.6 (מקדם ההפחתה מתאים למצב אבק, אדים ,מים מרובה)

מקדמי החזרה מן התקרה: 30%

מקדמי החזרה מן הקירות: 10%

חישוב מקדם האולם RK, לפי הנוסחא לתאורה ישירה:

$$R_K = \frac{2\,a + b}{6\,h'}$$

R_K — מקדם האולם

a [m] — רוחב האולם

b [m] — אורך האולם

h [m] — המרחק האנכי בין התקרה ומשטח העבודה

h' [m] — המרחק האנכי של גוף התאורה ממשטח העבודה

$$RK = \frac{2 \cdot 15.92 + 16.05}{6 \cdot 5} = 3.19$$

RK= 3.19

שטף האור הנדרש:

$$\phi = \frac{E \cdot A \cdot 100}{k \cdot \eta}$$

ϕ [lm] — שטף האור הנדרש

E [lx] — עוצמת המאור הנדרשת

A [m^2] — שטח האולם

k — מקדם ההפחתה

η [%] — נצילות התאורה

K= 0.6

$$Ø = \frac{300 \cdot 255.75 \cdot 100}{0.6 \cdot 49} = 260{,}730.61 lm$$

חישוב מספר נורות:

$$N = \frac{ø}{øn}$$

$$N = \frac{260{,}730.61}{21000} = 12.41$$

מכאן נובע שבכול ריבוע שיש אני ישים לפחות 13 נורות.

חישוב תאורת פנים שבנה א': 1.9.1

שם החדר	מקלחת נשים	מקלחת גברים	מקלחת נכים	מקלחת חדר כושר	אולם סקווש 1	אולם סקווש 2	אולם סקווש 3	אולם סקווש 4	משרדים	קפיטריה	מחסן1	מחסן2	חמת	חדר טיפולים	חדר מציל	חדר כושר ק.ב	משרדים 2 ק.ב	מחסן ק.ב	אולם קומה ב
אורך M	6.9	8		9	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	2.26	2	3	4	3	4	19.6	9.75	2	9.4
רוחבM	13	11.7		19.3	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	4.2	2.05	11.2	4.3	3.5	3	9.75	6.4	3	21
גובהM	2.5	2.5	2.5	2.5	5	5	5	5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	4.4	2.5	2.5	3.1
שטח	89.7	93.6		173.7	62.4	62.4	62.4	62.4	62.4	9.4	4.1	33.6	17.2	10.5	12	191.1	62.4	6	197.4
גובה Mאפקטיבי h'	2.5	2.5	2.5	2.5	5	5	5	5	1.5	1	2.5	2.5	1	1	2.5	4	1.5	2.5	2.9
עוצמת תאורה (מתקן) E	100	100	100	100	300	300	300	300	400	200	150	150	1000	250	400	300	400	150	300
מ.ה מהקיר	10	10	10	10	50	50	50	50	30	30	30	30	10	30	10	50	30	30	50
מ.ה תקרה	30	30	30	30	50	50	50	50	50	30	30	30	75	75	30	50	50	30	50
מקדם הפחתה K	מרובה0.55	מרובה0.55	מרובה0.55	מרובה0.55	0.8	0.8	0.8	0.8	מועט 0.75	מועט 0.75	מרובה 0.55	מרובה 0.55	מועט 0.75	מועט 0.75	מרובה 0.55	0.8	מועט 0.75	מרובה 0.55	0.8
מקדם אולם RK	1.78	1.84		2.48	0.86	0.86	0.86	0.86	2.87	1.45	0.4	1.14	2.05	1.58	0.73	1.62	2.87	0.53	2.95
נצילות	53.4	54.2	57	57	46.8	46.8	46.8	46.8	62	52.3	32	48.2	57.2	55.3	35.6	57.3	62	33.2	65.5
סוג נורה	פלורסצנט	פלורסצנט	פלורסצנט	פלורסצנט	נ.ל.ג	נ.ל.ג	נ.ל.ג	נ.ל.ג	פלורסצנט	פלורסצנט	פלורסצנט	פלורסצנט	פלורסצנט	פלורסצנט	פלורסצנט	נ.ל.ג	פלורסצנט	פלורסצנט	נ.ל.ג
שטף נורה	3350	3350	3350	3350	4800	4800	4800	4800	3350	3350	3350	3350	3350	3350	3350	4800	3350	3350	4800
הספק נורה	36w	36w	36w	36w	400w	400w	400w	400w	36w	36w	36w	36w	36w	36w	36w	400w	36w	36w	400w
שטף אור מתקבל	30541.36	31388.85		55406.69	50000	50000	50000	50000	53677.41	4792.86	349431.8	19011.69	40093.24	6329.11	24514.81	125065	53677.41	4928.8	113015.26
מס נורות שמחושב	9.11	9.37		16.5	10.41	10.41	10.41	10.41	16.02	1.43	5.92	5.67	11.96	1.88	7.31	26.05	16.02	1.47	23.54
מס נורותבפועל	10	10		17	11	11	11	11	17	2	6	6	12	2	8	27	17	2	24

תרשים תאורת פנים מבנה ב' 1.9.2

שם החדר	מסאג'	תרפיה	אולם נכים	אולם	מקלחות ק.א	אולם התעמלות קרקע 1ק.א	התעמלות קרקע 2ק.א	אולם 3 ריקודי עם ק.א	אולם התעמלות ק.ב	תאי הלבשה ק.ב
אורך M	9.4	6.6	15	11.4	6.7	13.5	13.7	4.5	19.5	12.6
רוחבM	13.8	6.2	20.4	12.4	17.1	20.5	12.4	20.6	22	3.5
גובהM	3	3	3	3	2.5	3	3	3	3	2.5
שטח	129.72	40.92	306	141.36	114.57	276.75	169.88	92.7	429	44.1
גובה Mאפקטיבי h'	2.5	2.5	2.5	2.5	2	2.5	2.5	2.5	2.5	2
עוצמת תאורה (מתקן)	50	50	300	300	100	300	300	300	300	100
מ.ה מהקיר	50	50	50	50	10	50	50	50	50	10
מ.ה תקרה	50	50	50	50	30	50	50	50	50	30
מקדם הפחתה K	0.75	0.75	0.8	0.8	0.55	0.8	0.8	0.8	0.8	0.55
מקדם אולם RK	2.46	1.26	3.72	2.41	3.4	3.63	2.56	3.04	4.23	1.63
נצילות אורית	63.2	53.2	67.6	62.8	62.2	67.5	63.2	66.3	68.3	52.7
סוג נורה	פלורסצנטית	פלורסצנטית	נ.ל.ג	נ.ל.ג	פלורסצנטית	נ.ל.ג	נ.ל.ג	נ.ל.ג	נ.ל.ג	פלורסצנטית
שטף נורה	3350	3350	4800	4800	3350	4800	4800	4800	4800	3350
הספק נורה	36W	36W	400W	400W	36W	400W	400W	400W	400W	36W
שטף אור מתקבל	13683.54	5127.81	169748.5	84410.82	33490	153750	100799.05	54977.37	235541.72	15214.76
מס נורות שמחושב	4.08	1.53	35.36	17.58	9.99	32.03	20.99	11.45	49.07	4.54
מס נורותבפועל	8	4	36	18	12	36	24	12	54	8

1.10.1 חישוב תאורה חיצונית למגרשים והחניה:

לקחתי את חניית הקנטרי וחילקתי אותה לשני מלבנים

גודל מלבן א: 130m x 80m שטח: 10,400 מר

גודל מלבן ב: 57.5m x 60m שטח: 3,450 מר



רמת הארה נבחרת בחנייה היא lux20-25

נשמש במנורה מטיל-לייד W400

בעלת שטף אור של LM25000


יופיטר

גובה העמודים בחנייה 3.5m

מלבן א:

את מלבן א, חילקתי לשני מלבנים קטנים יותר ואת המלבן חילקתי ל 2 לשם חלוקת תאורה שווה יותר.

$$AD = \sqrt{AC^2 + CD^2} = \sqrt{20^2 + 32.5^2} = 38.16m$$

$$AM = \frac{AD}{2} = \frac{38.16}{2} = 19.08m$$

$$\tan = \frac{AM}{H} = \frac{19.08}{3.5} = 5.45 > 79.6$$

COSØ=0.18

לפי עקומה IA=600

$$I\alpha * = \frac{I\alpha}{1000} \cdot \emptyset = \frac{600}{1000} \cdot 25000 = 15000$$

$$E = \frac{I\alpha \cdot COS^3}{H^2} = \frac{15000 \cdot 0.18^3}{3.5^2} = 7.14LUX$$

נכפיל את רמת הלוקס שיצאה ב 4 העמודים הקרובים ונקבל

$$7.14 \cdot 4 = 28.56LUX$$

רמת הלוקס בחניה היא בין 25-20*LUX*



1.10.2 מלבן ב':

נשמש במנורה מטיל-לייד W400

בעלת שטף אור של LM25000



יופיטר

את מלבן ב, חילקתי לשני מלבנים קטנים יותר לשם חלוקת תאורה שווה יותר.

$$\mathrm{AD} = \sqrt{AC^2 + CD^2} = \sqrt{30^2 + 28.75^2} = 41.55m$$

$$\mathrm{AM} = \frac{AD}{2} = \frac{41.55}{2} = 20.77\mathrm{m}$$

$$\tan = \frac{\mathrm{AM}}{\mathrm{H}} = \frac{20.77}{3.5} = 5.93 > 80.43$$

COSØ=0.17

לפי עקומה מס 1 Ia=600

$$I\alpha * = \frac{I\alpha}{1000} \cdot \emptyset = \frac{600}{1000} \cdot 25000 = 15000$$

$$\mathrm{E} = \frac{I\alpha \cdot COS^3}{\mathrm{H}^2} = \frac{15000 \cdot 0.17^3}{3.5^2} = 6.01\mathrm{lux}$$

נכפיל את רמת הלוקס במספר העמודים הקרובים(4)

$$4 \cdot 6.01 = 24.04\mathrm{LUX}$$

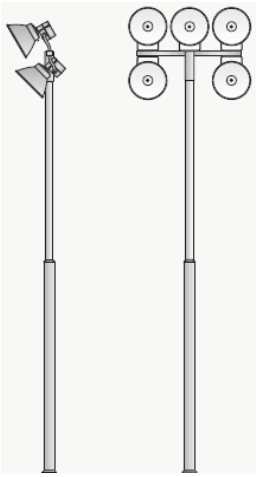
רמת הארה במגרשי החניה היא בין *20-25 lux*

1.10.3 מגרשי הטניס:

רוחב: *42.5m*

אורך: *30m*

שטח: 1275 מר



גובה העמוד: *4m*

רמת הארה נדרשת: *600 lux*

נשתמש במנורה בעלת הספק של *1500w* מסוג מטייל הלייד



את מגרשי הטניס, חילקתי לשני מלבנים קטנים יותר לשם חלוקת תאורה שווה יותר.

$$\mathrm{AD} = \sqrt{AC^2 + CD^2} = \sqrt{30^2 + 21.25^2} = 36.76m$$

$$\mathrm{AM} = \frac{AD}{2} = \frac{36.76}{2} = 18.38\mathrm{m}$$

$$\tan = \frac{\mathrm{AM}}{\mathrm{H}} = \frac{18.38}{4} = 4.59 > 77.72$$

COSØ=0.21

לפי עקומה Ia=600

$$I\alpha * = \frac{I\alpha}{1000} \cdot \emptyset = \frac{600}{1000} \cdot 150000 = 90000$$

$$\mathrm{E} = \frac{I\alpha \cdot COS^3}{\mathrm{H}^2} = \frac{90000 \cdot 0.21^3}{4^2} = 52.09$$

מכיוון ש רמת LUX (הארה) נמוכה לנורה אחת על עמוד אחד אני יגדיל את מס הנורות על עמוד אחד ואכפיל אותו במספר העמודים הקרובים.

$lux = 52.09 \cdot 3 = 156.27lux$ זוהי רמת הלוקס על עמוד אחד

ועכשיו אני אכפיל את רמת הלוקס במספר העמודים בחלק החצוי של המגרש (4)

$$156.27 \cdot 4 = 625.08lux$$

רמת הארה במגרש הטניס היא בין 600 – 700 *lux* לפי תקן

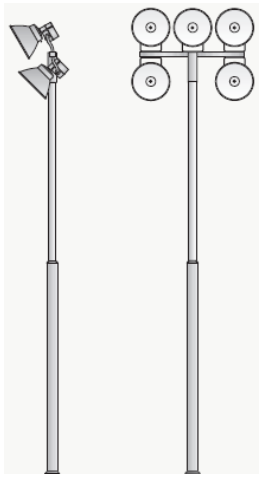
1.10.4 מגרש הכדורסל:

רוחב: *27.5m*

אורך: *42.5 m*

שטח: *1168* מר

גובה העמוד: *4m*



נשתמש במנורה בעלת הספק של *1500W* מסוג מטייל הלייד



רמת הארה נדרשת: *600 lux*

את מגרש הכדורסל, חילקתי לשני מלבנים קטנים יותר לשם חלוקת תאורה שווה יותר.

$$\mathrm{AD} = \sqrt{AC^2 + CD^2} = \sqrt{21.25^2 + 27.5^2} = 37.33m$$

$$\mathrm{AM} = \frac{AD}{2} = \frac{37.33}{2} = 18.66\mathrm{m}$$

$$\tan = \frac{\mathrm{AM}}{\mathrm{H}} = \frac{18.66}{4} = 4.66 > 77.9$$

COSØ=0.2

לפי עקומה מס 1 Ia=600

$$I\alpha * = \frac{I\alpha}{1000} \cdot \emptyset = \frac{600}{1000} \cdot 130000 = 78000$$

$$\mathrm{E} = \frac{I\alpha \cdot \cos^3}{\mathrm{H}^2} = \frac{78000 \cdot 0.2^3}{4^2} = 39$$

מכיוון ש רמת LUX (הארה) נמוכה לנורה אחת על עמוד אחד אני יגדיל את מס הנורות על עמוד אחד ואכפיל אותו במספר העמודים הקרובים (4).

$$lux = 39 \cdot 4 = 156lux$$

וזוהי רמת הלוקס הכללית של המגרש

$$156 \cdot 4 = 624lux$$

רמת הלוקס היא בין 600 -700 lux לפי תקן

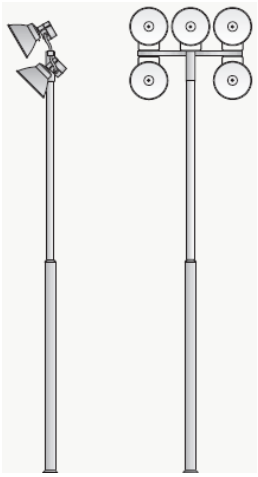
1.10.5 מגרש כדורגל:

רוחב: *22.5m*

אורך: *42.5 m*

שטח: *956.25* מר

גובה העמוד: *4m*



נשתמש במנורה בעלת הספק של *1500W* מסוג מטייל הלייד



רמת הארה נדרשת: *600 lux*

את מגרש הכדורסל, חילקתי לשני מלבנים קטנים יותר לשם חלוקת תאורה שווה יותר.

$$\mathrm{AD} = \sqrt{AC^2 + CD^2} = \sqrt{21.25^2 + 22.5^2} = 30.94m$$

$$\mathrm{AM} = \frac{AD}{2} = \frac{30.94}{2} = 15.47\mathrm{m}$$

$$\tan = \frac{\mathrm{AM}}{\mathrm{H}} = \frac{15.47}{4} = 3.86 > 75.50$$

COSØ=0.25

לפי עקומה מס 1 Ia=600

$$I\alpha * = \frac{I\alpha}{1000} \cdot \emptyset = \frac{600}{1000} \cdot 130000 = 78000$$

$$\mathrm{E} = \frac{I\alpha \cdot \cos^3}{\mathrm{H}^2} = \frac{78000 \cdot 0.25^3}{4^2} = 76.17$$

מכיוון ש רמת LUX (הארה) נמוכה לנורה אחת על עמוד אחד אני יגדיל את מס הנורות על עמוד אחד ואכפיל אותו במספר העמודים.

זוהי רמת הלוקס של סוללת מנורות על עמוד.

$$lux = 76.17 \cdot 4 = 152.34lux$$

רמת ההארה הכללית בכול המגרש.

$$152.34 \cdot 4 = 609.375lux$$

פרק 2
תכנון כוח

2.1 חישוב מפסק ראשי ללוח משנה A

- מקדם ביקוש מסומן באות K1
- נבחר מקדם ביקוש עבור השקעים 0.4
- נבחר מקדם ביקוש עבור התאורה 1
- נבחר מקדם ביקוש עבור הכוח 0.7

2.1.1 שקעים:

$$\Sigma P = 30KW$$

$$P* = P \cdot K1 = 30 \cdot 0.4 = 12KW$$

$$Q = P \cdot tan\emptyset = 30 \cdot 0.42 = 12.6KVAR$$

$$Q* = Q \cdot K1 = 12.6 \cdot 0.4 = 5.04KVAR$$

$$I = \frac{P*}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = \frac{12 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = 18.82A$$

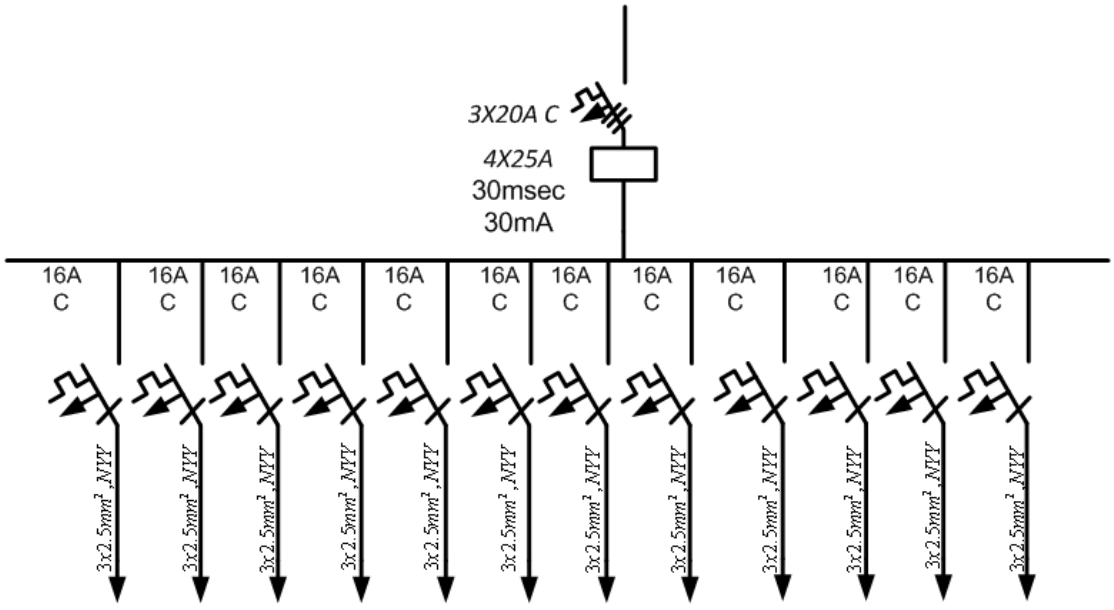
נבחר מפסק ראשי של:*3X20A C*

וממסר פחת של:*4X25A*

2.1.1.1 טבלת נתוני העמסה לוח משנה A- שקעים:

מקום	מס מעגל	הספק שקע	מס ש.ק במעגל	הספק כללי	מקדם הספק	זרם במעגל	זרם מבטח	זרם מתמיד	tan ρ	הספק עיוור	סוג מבטח	מתח	סוג בידוד הכבל	שטח חתך
משרד	1S1	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.42	1065	C	230	NYY	3X2.5
משרד	1S2	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.42	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם סקווש 1	1S3	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.42	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם סקווש 2	1S4	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.42	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם סקווש 3	1S5	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.42	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם סקווש 2	1S6	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.42	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם סקווש 4	1S7	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.42	1065	C	230	NYY	3X2.5
מקלחת נשים	1S8	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.42	1065	C	230	NYY	3X2.5
מקלחת גברים	1S9	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.42	1065	C	230	NYY	3X2.5
מקלחת חדר כ	1S10	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.42	1065	C	230	NYY	3X2.5
קפיטריה	1S11	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.42	1065	C	230	NYY	3X2.5
מחסן 1	1S12	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.42	1065	C	230	NYY	3X2.5

2.1.1.2 שרטוט המעגלים לשדה לוח משנה-A -שקעים:



2.1.2 תאורה:

$$\Sigma P = 21.906KW$$

$$P* = P \cdot K1 = 21.906 \cdot 1 = 21.906KW$$

$$Q = P \cdot tan\emptyset = 21.906 \cdot 0.42 = 9.2KVAR$$

$$Q* = Q \cdot K1 = 9.2 \cdot 1 = 9.2KVAR$$

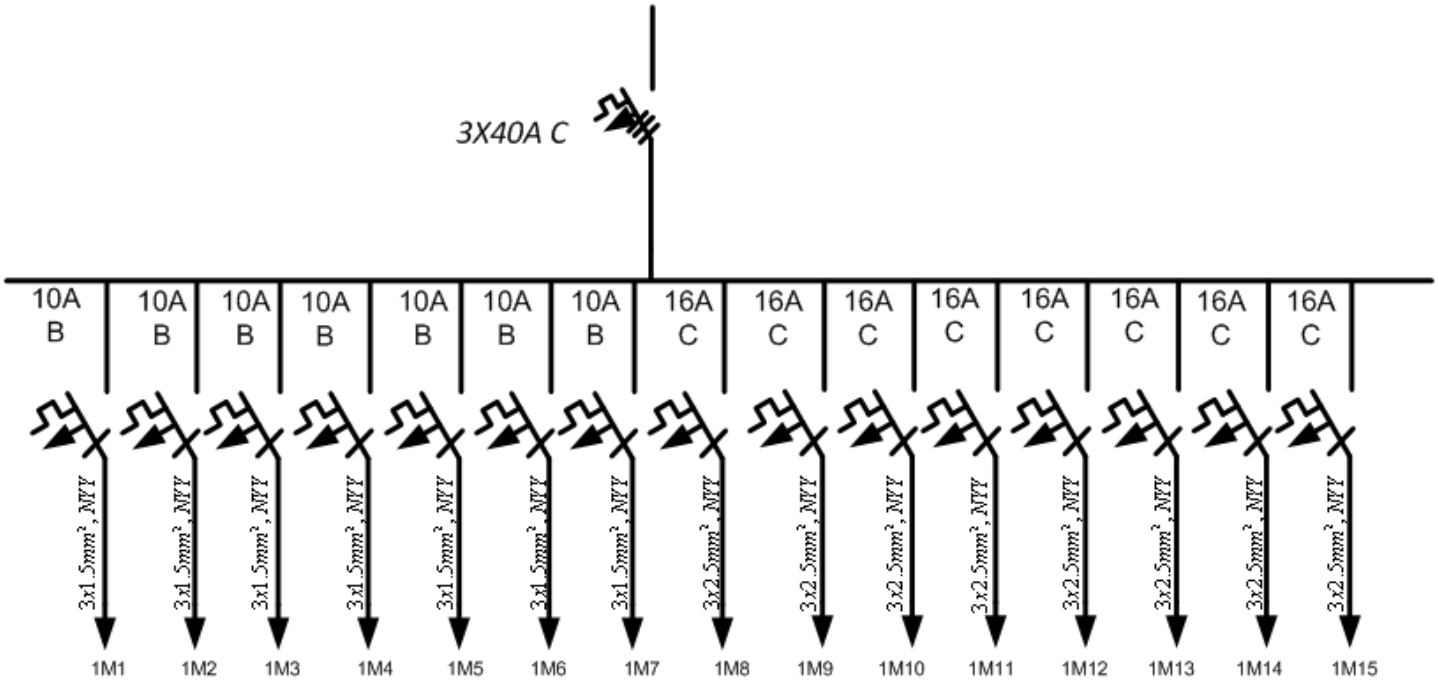
$$I = \frac{P*}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = \frac{21.906 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = 34.36A$$

נבחר מפסק ראשי של *3X40A C*

2.1.2.1 טבלת נתוני העמסה לוח משנה A- תאורה:

מקום	מס מעגל	הספק נורה	סוג נורה	מס נורות	הספק כללי	מקדם הספק	זרם במעגל	זרם מבטח	זרם מתמיד	tan p	הספק עיוור	סוג מבטח	מתח	סוג בידוד הכבל	שטח חתך
משרד-תאורה	1M1	36W	פלורסצנט	10	360	0.92	1.7	10	16	0.42	151.2	B	230V	NYY	3X1.5
	1M2	36W	פלורסצנט	10	360	0.92	1.7	10	16	0.42	151.2	B	230V	NYY	3X1.5
מקלחת נשים	1M3	36W	פלורסצנט	12	432	0.92	2.04	10	16	0.42	181.44	B	230V	NYY	3X1.5
מקלחת גברים	1M4	36W	פלורסצנט	12	432	0.92	2.04	10	16	0.42	181.44	B	230V	NYY	3X1.5
מקלחת חדר כ	1M5	36W	פלורסצנט	20	720	0.92	3.4	10	16	0.42	302.4	B	230	NYY	3X1.5
קפיטריה	1M6	36W	פלורסצנט	4	114	0.92	0.53	10	16	0.42	47.88	B	230	NYY	3X1.5
מחסן 1	1M7	36W	פלורסצנט	8	288	0.92	1.36	10	16	0.42	120.96	B	230	NYY	3X1.5
אולם סקווש 1	1M8	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
	1M9	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם סקווש 2	1M10	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
	1M11	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם סקווש 3	1M12	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
	1M13	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם סקווש 4	1M14	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
	1M15	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5

2.1.2.2 שרטוט המעגלים לשדה לוח משנה-A -תאורה:



2.1.3 כוח:

$$\Sigma P = 85.601KW$$

$$P* = P \cdot K1 = 85.601 \cdot 0.7 = 59.92KW$$

$$\Sigma Q = 38.662KVAR$$

$$Q* = Q \cdot K1 = 38.662 \cdot 0.7 = 27.063KVAR$$

$$tan\emptyset = \frac{Q}{P} = \frac{27.063 \cdot 10^3}{59.92 \cdot 10^3} = 0.45$$

$$cos\emptyset = 0.911$$

$$I = \frac{P*}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = \frac{59.92 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.911} = 94.10A$$

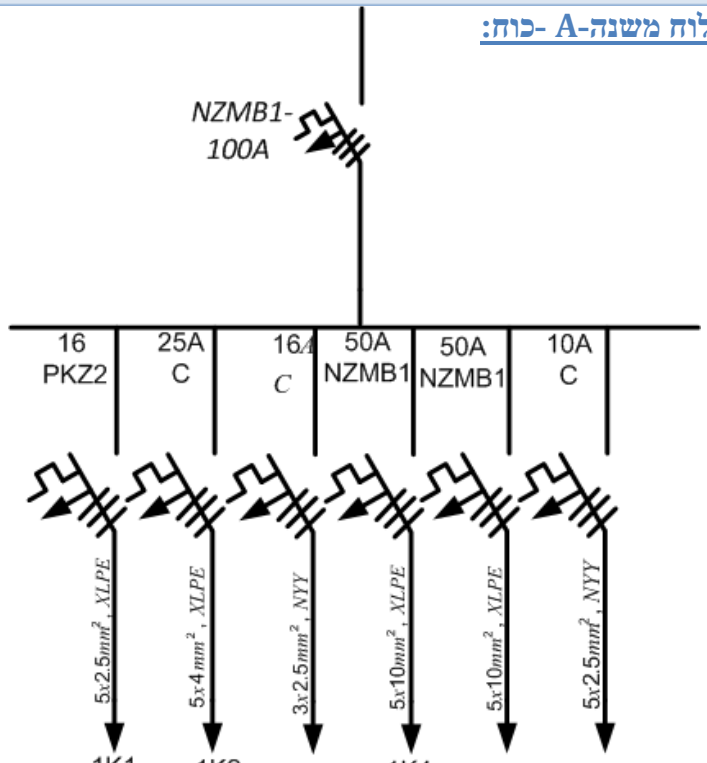
נבחר מפסק ראשי מתכייל של:*NZMB1-100A* ונכייל אותו ל *95A*

2.1.3.1 טבלת נתוני העמסה לוח משנה A- תאורה:

שם המכונה	מס מעגל	הספק נומינאלי	הספק כניסה	מקדם הספק	נצילות	זרם צרכן	מתח	tan ϕ	הספק עיוור	זרם מבטח
מקרר	1K1	7.5	8.52	0.85	88	14.47	400	0.62	5.28	16
תנור	1K2	15	15.3	1	98	22.09	400	0	0	25
מיקרוגל	1K3	3	3.19	0.96	94	14.45	230	0.292	0.932	16
מיזוג מרכזי 1	1K4	23	26.8	0.88	86	43.9	400	0.54	14.5	50
מיזוג מרכזי21	1K5	23	26.8	0.88	86	43.9	400	0.54	14.5	50
מעלית	1K6	4.41	5.011	0.82	82	8.82	400	0.69	3.45	10

כיול מגנטי של מבטח	שטח חתך	כיול תרמי בפועל של המבטח	מתח	זרם מתמיד	סוג הבידוד של הכבל	סוג מבטח
130-220	5X2.5	15	400	24	XLPE	PKZ2
----------	5X4	----------	400	33	XLPE	C
----------	3X2.5	----------	230	24	XLPE	C
400-700	5X10	45	400	58	XLPE	NZMB1
400-700	5X10	45	400	58	XLPE	NZMB1
	5X2.5		400	10	XLPE	C

2.1.3.2 שרטוט המעגלים לשדה לוח משנה-A -כוח:



2.1.4 חישוב מפסק ראשי כללי ללוח A :

$$\Sigma P = 93.826KW$$

$$\Sigma Q = 41.303KVAR$$

$$tan\emptyset = \frac{Q}{P} = \frac{30.977 \cdot 10^3}{70.3695 \cdot 10^3} = 0.44$$

$$cos\emptyset = 0.91$$

$$\text{IA} = \frac{P_t}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = \frac{93.826 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.91} = 148.819\text{A}$$

2.2 חישוב מפסק ראשי ללוח משנה B

- מקדם ביקוש מסומן באות K1
- נבחר מקדם ביקוש עבור השקעים 0.4
- נבחר מקדם ביקוש עבור התאורה 1
- נבחר מקדם ביקוש עבור הכוח 0.5

2.2.1 שקעים:

$$\Sigma P = 22.5KW$$

$$P* = P \cdot K1 = 22.5 \cdot 0.4 = 9KW$$

$$Q = P \cdot tan\emptyset = 22.5 \cdot 0.42 = 9.45KVAR$$

$$Q* = Q \cdot K1 = 9.45 \cdot 0.4 = 3.78KVAR$$

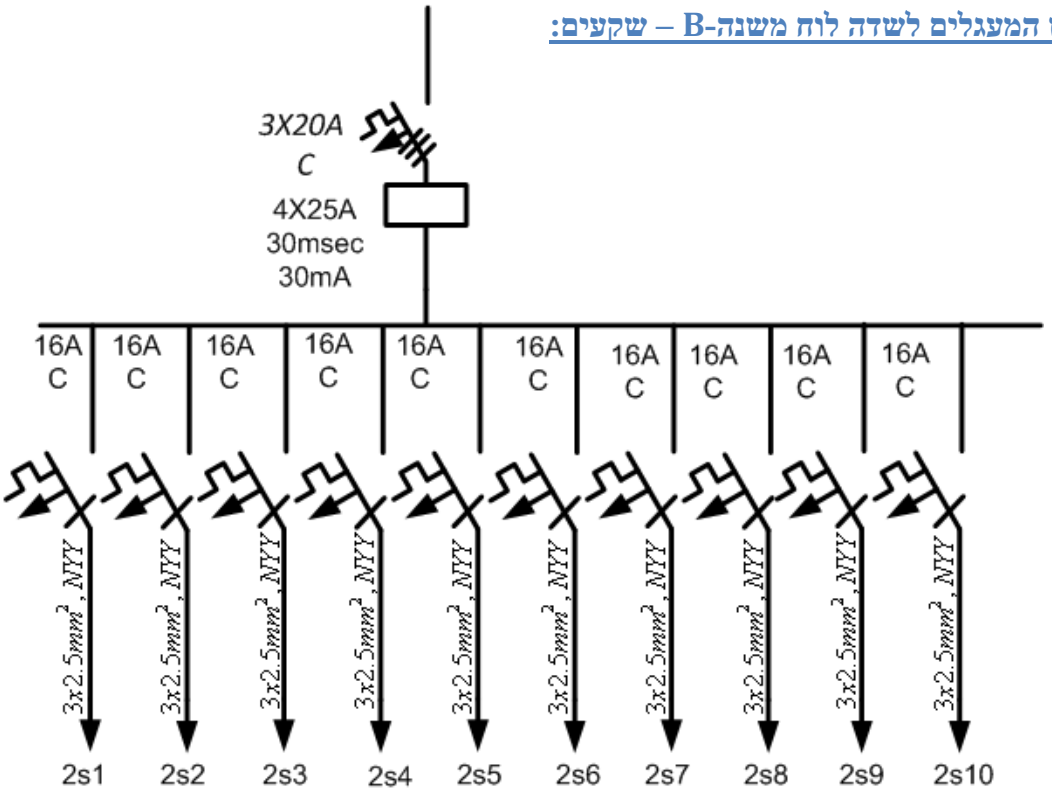
$$I = \frac{P_t}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = \frac{9 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = 14.11A$$

נבחר מפסק ראשי של:*3X20A C* וממסר פחת של:*4X25A*

2.2.1.1 טבלת נתוני העמסה לוח משנה B- שקעים:

מקום	מס מעגל	הספק שקע	מס ש.ק במעגל	הספק כללי	מקדם הספק	זרם במעגל	זרם מבטח	זרם מתמיד	ק tan	הספק עיוור	סוג מבטח	מתח	סוג בידוד הכבל	שטח חתך
חנות	2S1	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
חנות	2S2	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
מחסן 2	2S3	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
חדר טיפולים	2S4	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
חדר טיפולים	2S5	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
חדר מציל	2S6	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
בריכה	2S7	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
בריכה	2S8	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
בריכה	2S9	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5

2.2.1.2 שרטוט המעגלים לשדה לוח משנה-B – שקעים:



2.2.2 תאורה:

$$\Sigma P = 10.72KW$$

$$P* = P \cdot K1 = 10.72 \cdot 1 = 10.72KW$$

$$Q = P \cdot tan\emptyset = 10.72 \cdot 0.42 = 4.503KVAR$$

$$Q* = Q \cdot K1 = 4.503 \cdot 1 = 4.503KVAR$$

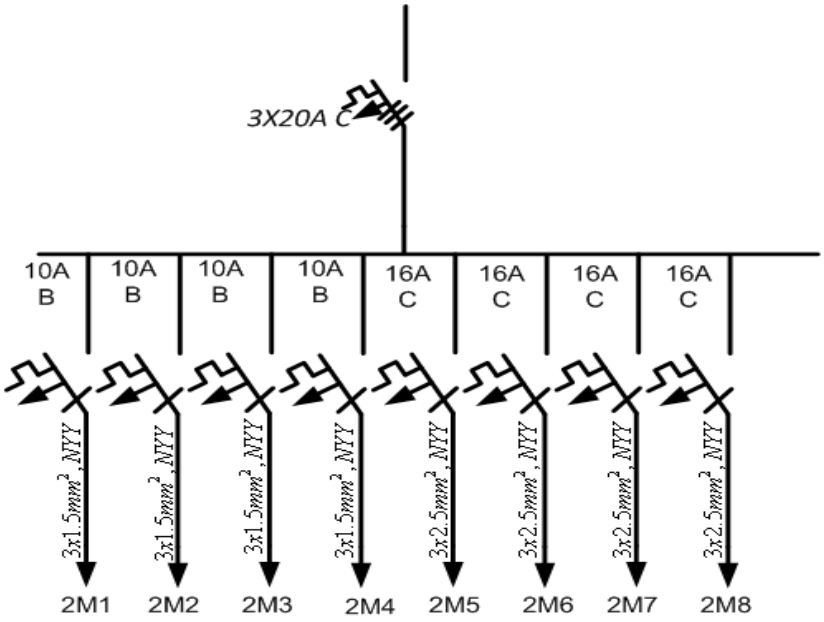
$$I = \frac{P*}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = \frac{10.72 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = 16.818A$$

נבחר מפסק ראשי של *3X20A C*

2.2.2.1 טבלת נתוני העמסה לוח משנה B- תאורה:

מקום	מס מעגל	הספק נורה	סוג נורה	מס נורות	הספק כללי	מקדם הספק	זרם במעגל	זרם מבטח	זרם מתמיד	tan p	הספק עיוור	סוג מבטח	מתח	סוג בידוד הכבל	שטח חתך
חמת	2M1	36W	פלורסצנט	12	432	0.92	2.04	10	16	0.42	181.44	B	230V	NYY	3X1.5
מחסן 2	2M2	36W	פלורסצנט	8	288	0.92	1.36	10	16	0.42	120.96	B	230V	NYY	3X1.5
חדר טיפולים	2M3	36W	פלורסצנט	4	114	0.92	0.53	10	16	0.42	47.88	B	230	NYY	3X1.5
חדר מציל	2M4	36W	פלורסצנט	8	288	0.92	1.36	10	16	0.42	120.96	B	230	NYY	3X1.5
תאורת בריכה	2M5	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
תאורת בריכה	2M6	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
תאורת בריכה	2M7	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
תאורת בריכה	2M8	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5

2.2.2.2 שרטוט המעגלים לשדה לוח משנה B –תאורה:



2.2.3 כוח:

$$\Sigma P = 22.08KW$$

$$P* = P \cdot K1 = 22.08 \cdot 0.5 = 11.04KW$$

$$\Sigma Q = 15.23KVAR$$

$$Q* = Q \cdot K1 = 15.23 \cdot 0.5 = 7.615KVAR$$

$$tan\emptyset = \frac{Q}{P} = \frac{7.615 \cdot 10^3}{11.04 \cdot 10^3} = 0.68$$

$$cos\emptyset = 0.82$$

$$I = \frac{P*}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = \frac{11.04 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.82} = 19.43A$$

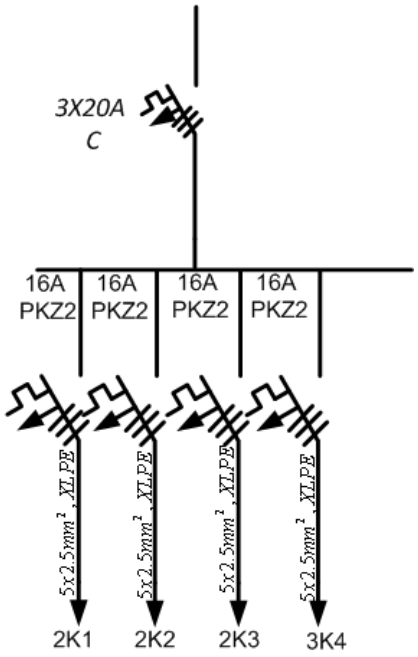
נבחר מפסק ראשי של:*3X20A C*

2.2.3.1 טבלת נתוני העמסה לוח משנה B- שקעים:

שם המכונה	מס מעגל	הספק נומינאלי	הספק כניסה	מקדם הספק	נצילות	זרם צרכן	מתח	tan ρ	הספק עיוור	זרם מבטח
ממע בריכה 1	2K1	4.416	5520	0.82	80	9.71	400	0.69	3808.8	16
ממע בריכה 2	2K2	4.416	5520	0.82	80	9.71	400	0.69	3808.8	16
ממע בריכה 3	2K3	4.416	5520	0.82	80	9.71	400	0.69	3808.8	16
ממע בריכה 4	2K4	4.416	5520	0.82	80	9.71	400	0.69	3808.8	16

כיול תרמי של מבטח	כיול מגנטי של מבטח	שטח חתך	כיול תרמי בפועל של המבטח	זרם מתמיד	סוג הבידוד של הכבי	סוג מבטח
10--16	130-220	5X2.5	10	24	XLPE	PKZ2
10--16	130-220	5X2.5	10	24	XLPE	PKZ2
10--16	130-220	5X2.5	10	24	XLPE	PKZ2
10--16	130-220	5X2.5	10	24	XLPE	PKZ2

2.2.3.2 שרטוט המעגלים לשדה לוח משנה-B -כוח:



2.2.4 חישוב מפסק ראשי כללי ללוח B :

$$\Sigma P = 30.76KW$$

$$\Sigma Q = 15.898KVAR$$

$$tan\emptyset = \frac{Q}{P} = \frac{11.12 \cdot 10^3}{21.532 \cdot 10^3} = 0.51$$

$$cos\emptyset = 0.88$$

$$IB = \frac{P_t}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = \frac{30.76 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.88} = 50.45A$$

2.3 חישוב מפסק ראשי ללוח משנה C

- מקדם ביקוש מסומן באות K1
- נבחר מקדם ביקוש עבור השקעים 0.4
- נבחר מקדם ביקוש עבור התאורה 1

2.3.1 שקעים:

$$\Sigma P = 47.5KW$$

$$P* = P \cdot K1 = 47.5 \cdot 0.4 = 19KW$$

$$Q = P \cdot tan\emptyset = 47.5 \cdot 0.42 = 19.95KVAR$$

$$Q* = Q \cdot K1 = 19.95 \cdot 0.4 = 7.98KVAR$$

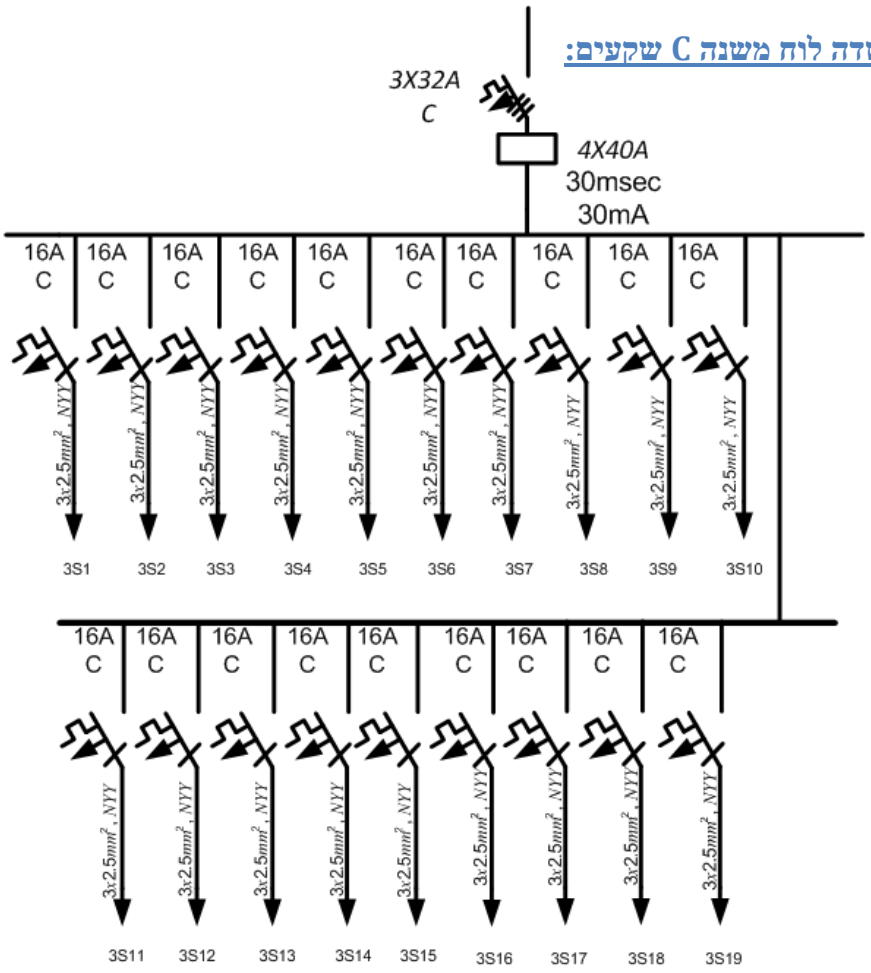
$$I = \frac{P_t}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = \frac{19 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = 29.8A$$

נבחר מפסק ראשי של:*3X32A C* וממסר פחת של:*4X40A*

2.3.1.1 טבלת נתוני העמסה לוח משנה C –שקעים:

מקום	מס מעגל	הספק שקע	מס ש.ק במעגל	הספק כללי	מקדם הספק	זרם במעגל	זרם מבטח	זרם מתמיד	ק tan	הספק עיוור	סוג מבטח	מתח	סוג בידוד הכבל	שטח חתך
חדר כושר	3S1	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
חדר כושר	3S2	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
חדר כושר	3S3	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
חדר כושר	3S4	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
חדר כושר	3S5	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
חדר כושר	3S6	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
חדר כושר	3S7	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
חדר כושר	3S8	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
חדר כושר	3S9	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
משרדים	3S10	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
משרדים	3S11	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם	3S12	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם	3S13	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם	3S14	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם	3S15	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם	3S16	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם	3S17	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5

2.3.1.2 שרטוט המעגלים לשדה לוח משנה C שקעים:



2.3.2 תאורה:

$$\Sigma P = 2.862KW$$

$$P* = P \cdot K1 = 2.862 \cdot 1 = 2.862KW$$

$$Q = P \cdot tan\emptyset = 2.862 \cdot 0.42 = 1.202KVAR$$

$$Q* = Q \cdot K1 = 1.202 \cdot 1 = 1.202KVAR$$

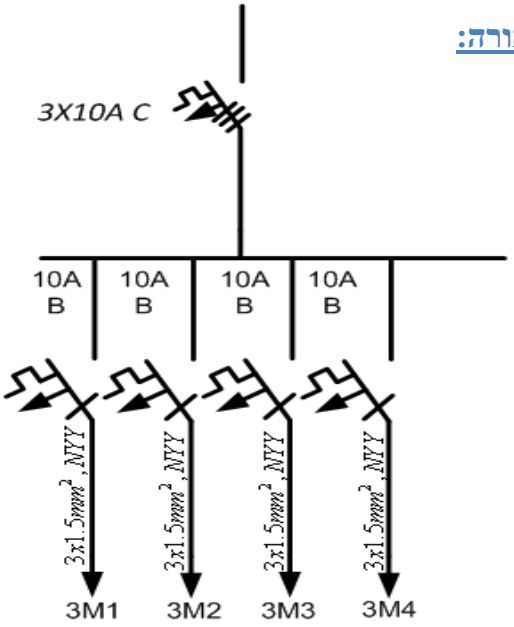
$$I = \frac{P_t}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = \frac{2.862 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = 4.490A$$

נבחר מפסק ראשי של *3X10A C*

2.3.2.1 טבלת נתוני העמסה לוח משנה C –תאורה:

מקום	מס מעגל	הספק נורה	סוג נורה	מס נורות	הספק כללי	מקדם הספק	זרם במעגל	זרם מבטח	זרם מתמיד	tan ϕ	הספק עיוור	סוג מבטח	מתח	סוג בידוד הכבל	שטח חתך
חדר כושר	3M1	36W	פלורסצנט	28	1008	0.92	4.76	10	16	0.42	423.36	B	230V	NYY	3X1.5
אולם	3M2	36W	פלורסצנט	24	846	0.92	3.99	10	16	0.42	355.32	B	230V	NYY	3X1.5
משרדים	3M3	36W	פלורסצנט	20	720	0.92	3.4	10	16	0.42	302.4	B	230	NYY	3X1.5
שירותים	3M4	36W	פלורסצנט	8	288	0.92	1.36	10	16	0.42	120.96	B	230	NYY	3X1.5

2.3.2.2 שרטוט המעגלים לשדה לוח משנה C –תאורה:



2.3.3 חישוב מפסק ראשי כללי ללוח C :

$$\Sigma P = 21.862KW$$

$$\Sigma Q = 9.182KVAR$$

$$tan\emptyset = \frac{Q}{P} = \frac{6.4274 \cdot 10^3}{15.3034 \cdot 10^3} = 0.41$$

$$cos\emptyset = 0.92$$

$$\text{IC} = \frac{P_t}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = \frac{21.862 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = 34.29\text{A}$$

2.4 חישוב מפסק ראשי ללוח משנה D

- מקדם ביקוש מסומן באות K1
- נבחר מקדם ביקוש עבור השקעים 0.4
- נבחר מקדם ביקוש עבור התאורה 1
- נבחר מקדם ביקוש עבור הכוח 0.8

2.4.1 שקעים:

$$\Sigma P = 75KW$$

$$\text{P} *= P \cdot K1 = 75 \cdot 0.4 = 30KW$$

$$Q = P \cdot tan\emptyset = 75 \cdot 0.42 = 31.5KVAR$$

$$\text{Q} *= Q \cdot K1 = 31.5 \cdot 0.4 = 12.6KVAR$$

$$I = \frac{P_t}{\sqrt{3}\cdot 400\cdot 0.92} = \frac{30\cdot 10^3}{\sqrt{3}\cdot 400\cdot 0.92} = 47.06A$$

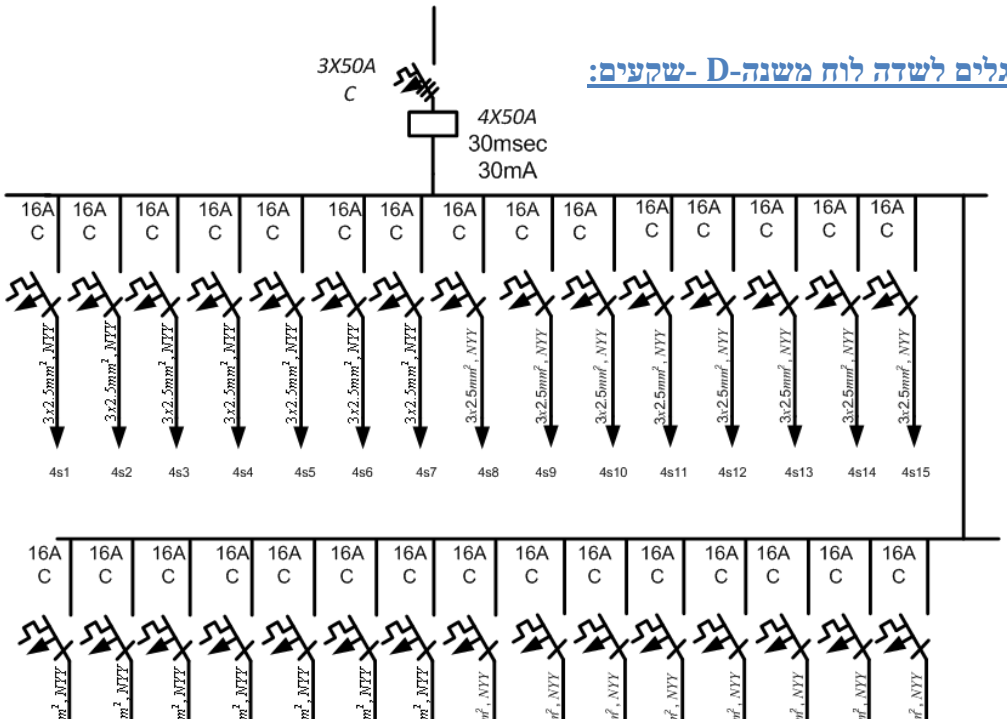
נבחר מפסק ראשי של:*3X50A C*

וממסר פחת של:*4X50A*

2.4.1.1 טבלת נתוני העמסה בלוח משנה D-שקעים:

מקום	מס מעגל	הספק שקע	מס ש.ק במעגל	הספק כללי	מקדם הספק	זרם במעגל	זרם מבטח	זרם מתמיד	ק tan	הספק עיוור	סוג מבטח	מתח	סוג בידוד הכבל	שטח חתך
מסאג'	4S1	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
תרפיה	4S2	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם נכים	4S3	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם נכים	4S4	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם נכים	4S5	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם רב תכליתי	4S6	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם רב תכליתי	4S7	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם רב תכליתי	4S8	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם רב תכליתי	4S9	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם רב תכליתי	4S10	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
מקלחת ק.א	4S11	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות1 ק.א	4S12	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות1 ק.א	4S13	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות1 ק.א	4S14	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות1 ק.א	4S15	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות2 ק.א	4S16	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות2 ק.א	4S17	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות2 ק.א	4S18	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות2 ק.א	4S19	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם 3 ריקודי עם ק.א	4S20	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם 3 ריקודי עם ק.א	4S21	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם 3 ריקודי עם ק.א	4S22	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם 3 ריקודי עם ק.א	4S23	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות ק.ב	4S24	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות ק.ב	4S25	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות ק.ב	4S26	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות ק.ב	4S27	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות ק.ב	4S28	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות ק.ב	4S29	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5
תאי הלבשה ק.ב	4S30	500	5	2500	0.92	11.81	16	22	0.426	1065	C	230	NYY	3X2.5

2.4.1.2 שרטוט המעגלים לשדה לוח משנה-D -שקעים:



2.4.2 תאורה:

$$\Sigma P = 73.122KW$$

$$P* = P \cdot K1 = 73.122 \cdot 1 = 73.122KW$$

$$Q = P \cdot tan\emptyset = 73.122 \cdot 0.42 = 30.71KVAR$$

$$Q* = Q \cdot K1 = 30.71 \cdot 1 = 30.71KVAR$$

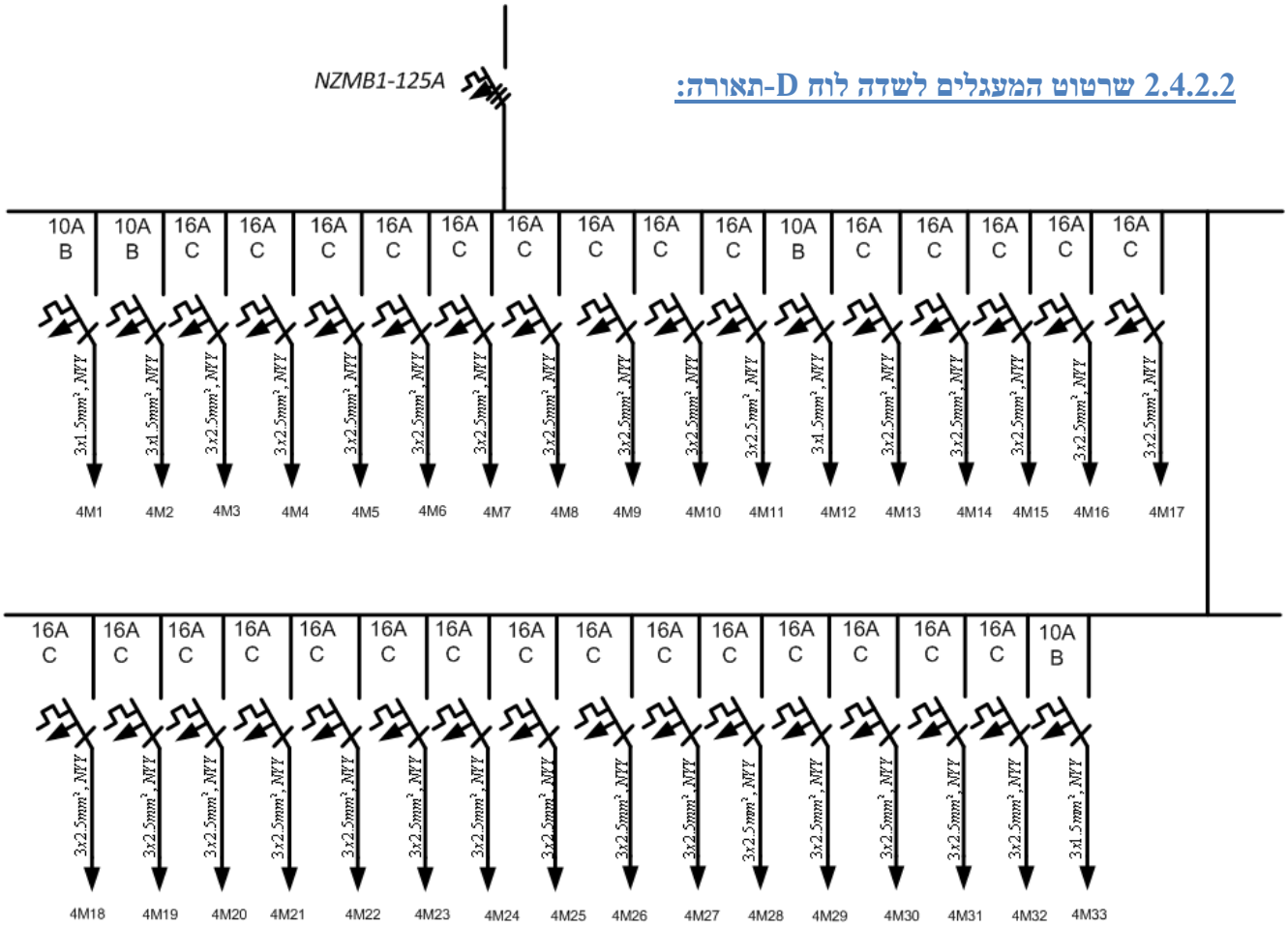
$$I = \frac{P*}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = \frac{73.122 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = 114.72A$$

נבחר מפסק ראשי של *NZMB1-125A* ונכייל אותו ל *115A*

2.4.2.1 טבלת נתוני העמסה בלוח משנה D-שקעים:

מקום	מס מעגל	הספק נורה	סוג נורה	מס נורות	הספק כללי	מקדם הספק	זרם במעגל	זרם מבטח	זרם מתמיד	tan ק	הספק עיוור	סוג מבטח	מתח	סוג בידוד הכבל	שטח חתך
מסאג'	4M1	36	פלורסצנט	8	288	0.92	1.36	10	16	0.42	120.96	B	230	NYY	3X1.5
תרפיה	4M2	36	פלורסצנט	4	114	0.92	0.53	10	16	0.42	47.88	B	230	NYY	3X1.5
אולם נכים	4M3	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם רב תכליתי	4M4	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם רב תכליתי	4M5	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם רב תכליתי	4M6	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם רב תכליתי	4M7	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם רב תכליתי	4M8	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם רב תכליתי	4M9	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם רב תכליתי	4M10	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם רב תכליתי	4M11	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
מקלחת ק.א	4M12	36	פלורסצנט	12	432	0.92	2.04	10	16	0.42	181.44	B	230	NYY	3X1.5
אולם התעמלות1 ק.א	4M13	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות1 ק.א	4M14	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות1 ק.א	4M15	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות1 ק.א	4M16	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות1 ק.א	4M17	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות1 ק.א	4M18	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות2 ק.א	4M19	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות2 ק.א	4M20	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות2 ק.א	4M21	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות2 ק.א	4M22	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם 3 ריקודי עם ק.א	4M23	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם 3 ריקודי עם ק.א	4M24	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות ק.ב	4M25	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות ק.ב	4M26	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות ק.ב	4M27	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות ק.ב	4M28	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות ק.ב	4M29	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות ק.ב	4M30	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות ק.ב	4M31	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות ק.ב	4M32	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
אולם התעמלות ק.ב	4M33	400	נ.ל.ג	6	2400	0.92	11.34	16	22	0.42	1008	C	230	NYY	3X2.5
תאי הלבשה ק.ב	4M34	36	פלורסצנט	8	288	0.92	1.36	10	16	0.42	120.96	B	230	NYY	3X1.5

2.4.2.2 שרטוט המעגלים לשדה לוח D-תאורה:



2.4.3 כוח:

$$\Sigma P = 85.41KW$$

$$\mathrm{P} * = P \cdot K1 = 85.41 \cdot 0.8 = 68.328KW$$

$$\Sigma Q = 46.95KVAR$$

$$\mathrm{Q} * = Q \cdot K1 = 46.95 \cdot 0.8 = 37.56KVAR$$

$$cos\emptyset = 0.87 \quad tan\emptyset = \frac{Q}{P} = \frac{37.56 \cdot 10^3}{68.328 \cdot 10^3} = 0.54$$

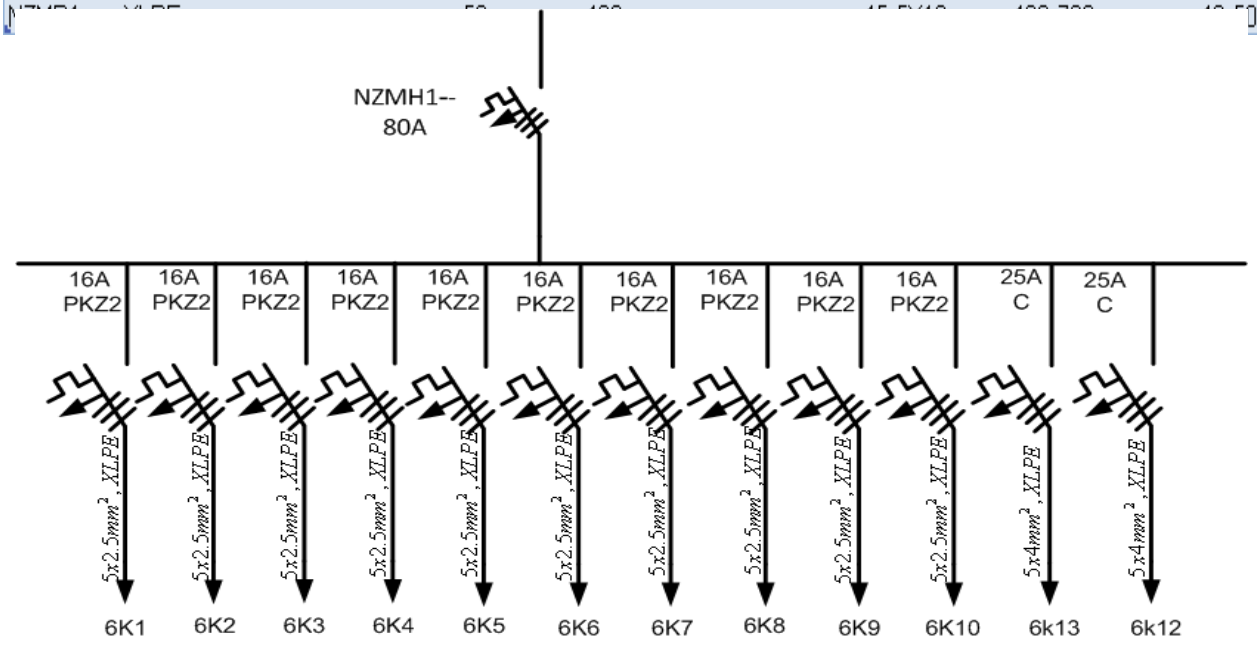
$$\mathrm{I} = \frac{P*}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = \frac{68.328 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.87} = 113.35\mathrm{A}$$

נבחר מפסק מתכייל ראשי של: *NZMB1-125A* ונכייל אותו ל *114A*

2.4.3.1 טבלת נתוני העמסה בלוח משנה D-שקעים:

שם המכונה	מס מעגל	הספק נומינאלי	הספק כניסה	מקדם הספק	נצילות	זרם צרכן	מתח	tan p	הספק עיוור	זרם מבטח
מעלית	4K1	4.41	5.011	0.82	82	8.82	400	0.69	3.45	10
מזגן מרכזי ק.ק	4K2	23	26.8	0.88	86	43.9	400	0.54	14.5	50
מזגן מרכזי ק.א	4K3	23	26.8	0.88	86	43.9	400	0.54	14.5	50
מזגן מרכזי ק.ב	4K4	23	26.8	0.88	86	43.9	400	0.54	14.5	50

כיול תרמי של מבטח	כיול מגנטי של מבטח	שטח חתך	כיול תרמי בפועל של המבטח	מתח	זרם מתמיד	סוג הבידוד של הכבל	סוג מבטח
		5X2.5		400	10	XLPE	C
40-50	400-700	5X10	45	400	58	XLPE	NZMB1
40-50	400-700	5X10	45	400	58	XLPE	NZMB1



2.4.4 חישוב מפסק ראשי כללי ללוח D :

$$\Sigma P = 171.45KW$$

$$\Sigma Q = 80.87KVAR$$

$$cos\emptyset = 0.90 \qquad tan\emptyset = \frac{Q}{P} = \frac{56.609 \cdot 10^3}{120.015 \cdot 10^3} = 0.47$$

$$\mathrm{ID} = \frac{P_t}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = \frac{171.45 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.90} = 274.96\mathrm{A}$$

2.5 חישוב מפסק ראשי ללוח משנה E

- מקדם ביקוש מסומן באות K1
- נבחר מקדם ביקוש עבור התאורה 1

2.5.1 תאורה:

$$\Sigma P = 131.014KW$$

$$P* = P \cdot K1 = 131.014 \cdot 1 = 131.014KW$$

$$Q = P \cdot tan\emptyset = 131.014 \cdot 0.42 = 55.02KVAR$$

$$Q* = Q \cdot K1 = 55.02 \cdot 1 = 55.02KVAR$$

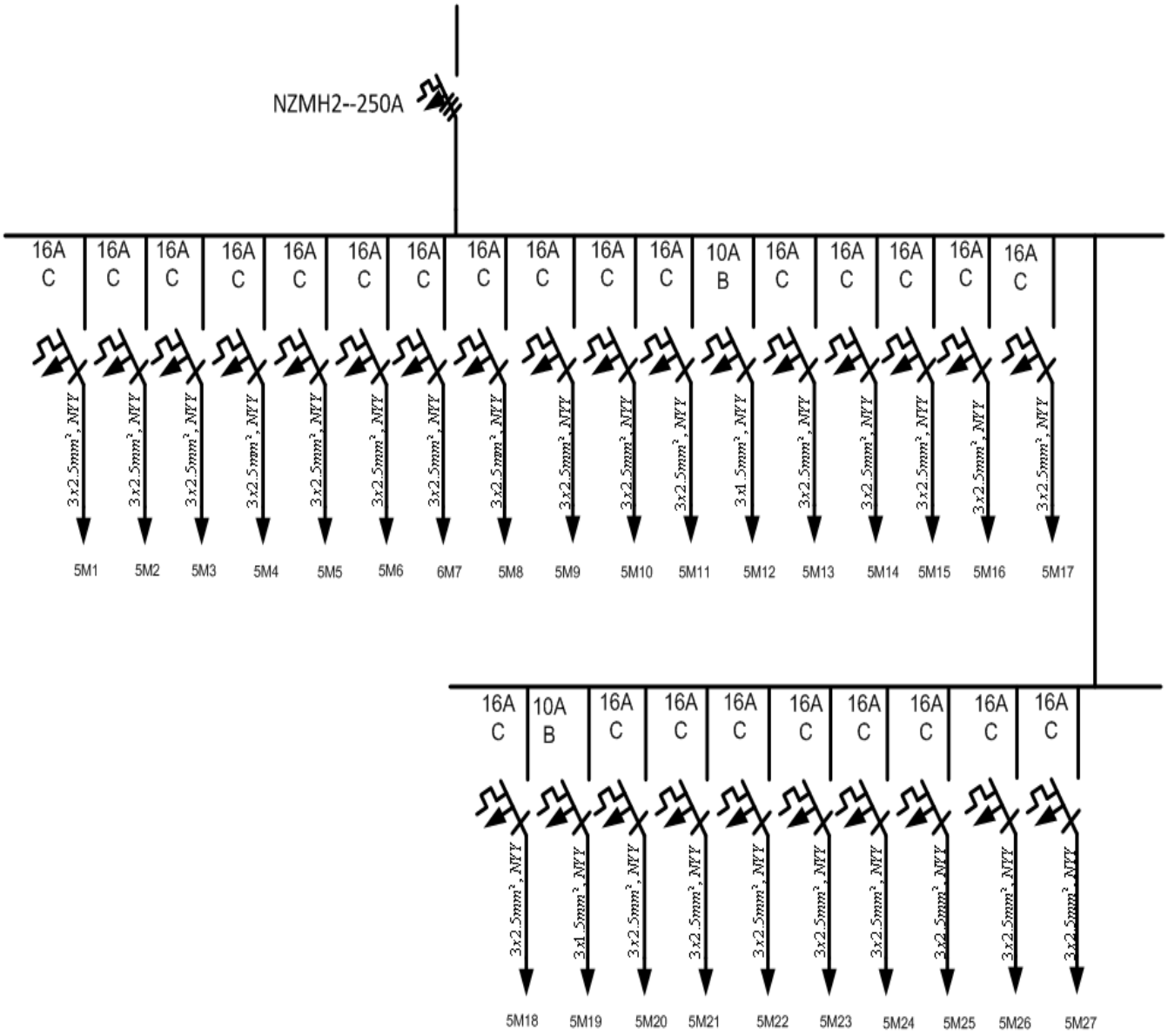
$$IE = \frac{P*}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = \frac{131.014 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = 205.54A$$

נבחר מפסק ראשי מתכייל *NZM*

2.5.1.1 טבלת נתוני העמסה בלוח משנה D-שקעים:

מקום	מס מעגל	הספק נורה	סוג נורה	מס נורות	הספק כללי	מקדם הספק	זרם במעגל	זרם מבטח	זרם מתמיד	tan ρ	הספק עיוור	סוג מבטח	מתח	סוג בידוד הכבל	שטח חתך
חנייה חלק א	5M1	400	מטייל-הלייד	8	3200	0.92	15.12	16	22	0.42	13441	C	230	NYY	3X2.5
חנייה חלק ב	5M2	400	מטייל-הלייד	8	3200	0.92	15.12	16	22	0.42	13441	C	230	NYY	3X2.5
מגרש כדורגל	5M3	1500	מטייל-הלייד	3	4500	0.92	21.26	25	33	0.42	1890	C	230	NYY	3X2.5
מגרש כדורגל	5M4	1500	מטייל-הלייד	3	4500	0.92	21.26	25	33	0.42	1890	C	230	NYY	3X2.5
מגרש כדורגל	5M5	1500	מטייל-הלייד	3	4500	0.92	21.26	25	33	0.42	1890	C	230	NYY	3X2.5
מגרש כדורגל	5M6	1500	מטייל-הלייד	3	4500	0.92	21.26	25	33	0.42	1890	C	230	NYY	3X2.5
מגרש כדורגל	5M7	1500	מטייל-הלייד	3	4500	0.92	21.26	25	33	0.42	1890	C	230	NYY	3X2.5
מגרש כדורגל	5M8	1500	מטייל-הלייד	3	4500	0.92	21.26	25	33	0.42	1890	C	230	NYY	3X2.5
מגרש כדורגל	5M9	1500	מטייל-הלייד	3	4500	0.92	21.26	25	33	0.42	1890	C	230	NYY	3X2.5
מגרש כדורגל	5M10	1500	מטייל-הלייד	3	4500	0.92	21.26	25	33	0.42	1890	C	230	NYY	3X2.5
מגרש כדורסל	5M11	1500	מטייל-הלייד	4	6000	0.92	28.35	32	33	0.42	2520	C	230	NYY	3X2.5
מגרש כדורסל	5M12	1500	מטייל-הלייד	4	6000	0.92	28.35	32	33	0.42	2520	C	230	NYY	3X2.5
מגרש כדורסל	5M13	1500	מטייל-הלייד	4	6000	0.92	28.35	32	33	0.42	2520	C	230	NYY	3X2.5
מגרש כדורסל	5M14	1500	מטייל-הלייד	4	6000	0.92	28.35	32	33	0.42	2520	C	230	NYY	3X2.5
מגרש כדורסל	5M15	1500	מטייל-הלייד	4	6000	0.92	28.35	32	33	0.42	2520	C	230	NYY	3X2.5
מגרש כדורסל	5M16	1500	מטייל-הלייד	4	6000	0.92	28.35	32	33	0.42	2520	C	230	NYY	3X2.5
מגרש כדורסל	5M17	1500	מטייל-הלייד	4	6000	0.92	28.35	32	33	0.42	2520	C	230	NYY	3X2.5
מגרש כדורסל	5M18	1500	מטייל-הלייד	4	6000	0.92	28.35	32	33	0.42	2520	C	230	NYY	3X2.5
תא שומר	5M19	36	פלורסצנט	4	114	0.92	0.53	10	16	0.42	47.88	B	230	NYY	3X1.5
מגרשי טניס	5M20	1500	מטייל-הלייד	3	4500	0.92	21.26	25	33	0.42	1890	C	230	NYY	3X2.5
מגרשי טניס	5M21	1500	מטייל-הלייד	3	4500	0.92	21.26	25	33	0.42	1890	C	230	NYY	3X2.5
מגרשי טניס	5M22	1500	מטייל-הלייד	3	4500	0.92	21.26	25	33	0.42	1890	C	230	NYY	3X2.5
מגרשי טניס	5M23	1500	מטייל-הלייד	3	4500	0.92	21.26	25	33	0.42	1890	C	230	NYY	3X2.5
מגרשי טניס	5M24	1500	מטייל-הלייד	3	4500	0.92	21.26	25	33	0.42	1890	C	230	NYY	3X2.5

2.5.1.2 שרטוט המעגלים לשדה לוח משנה-E -תאורה:



2.6 חישוב מפסק ראשי ללוח משנה F

- מקדם ביקוש מסומן באות K1
- נבחר מקדם ביקוש עבור הכוח 0.7

2.6.1 כוח:

$$\Sigma P = 55.2KW$$

$$P* = P \cdot K1 = 55.2 \cdot 0.7 = 38.64KW$$

$$\Sigma Q = 38.088KVAR$$

$$Q* = Q \cdot K1 = 38.088 \cdot 0.7 = 26.66KVAR$$

$$tan\emptyset = \frac{Q}{P} = \frac{26.66 \cdot 10^3}{38.64 \cdot 10^3} = 0.68$$

$$cos\emptyset = 0.82$$

$$IF = \frac{P*}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = \frac{38.64 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.82} = 68.01A$$

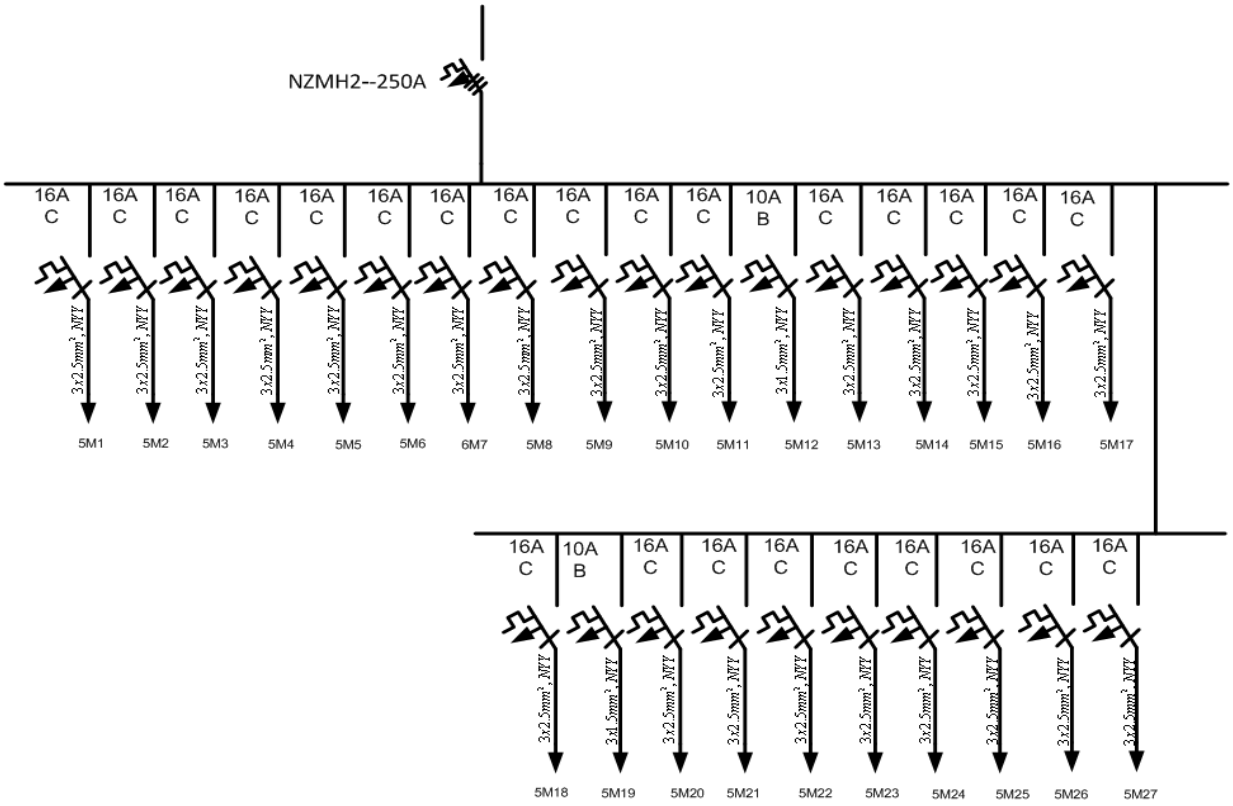
נבחר מפסק ראשי מתכייל של *80 A* ונכייל אותו ל *69A*

2.6.1.1 טבלת נתוני העמסה בלוח משנה D-שקעים:

שם המכונה	מס מעגל	הספק נומינאלי	הספק כניסה	מקדם הספק	נצילות	זרם צרכן	מתח	ק tan	הספק עיוור	זרם מבטח
מנוע בריכה קטנה ריקון	6K1	4.416	5520	0.82	80	9.71	400	0.69	3808.8	16
מנוע בריכה קטנה 2 מילוי	6K2	4.416	5520	0.82	80	9.71	400	0.69	3808.8	16
מנוע בריכה קטנה 3 סינון	6K3	4.416	5520	0.82	80	9.71	400	0.69	3808.8	16
מנוע בריכה חיצונית ריקון	6K4	4.416	5520	0.82	80	9.71	400	0.69	3808.8	16
מנוע בריכה חיצונית מילוי	6K5	4.416	5520	0.82	80	9.71	400	0.69	3808.8	16
מנוע בריכה חיצונית סינון	6K6	4.416	5520	0.82	80	9.71	400	0.69	3808.8	16
מנוע בריכת ילדים ריקון	6K7	4.416	5520	0.82	80	9.71	400	0.69	3808.8	16
מנוע בריכת ילדים מילוי	6K8	4.416	5520	0.82	80	9.71	400	0.69	3808.8	16
מנוע בריכת ילדים סינון	6K9	4.416	5520	0.82	80	9.71	400	0.69	3808.8	16
מנוע מגלשת מים מילוי	6K10	4.416	5520	0.82	80	9.71	400	0.69	3808.8	16
גוף חימום לבריכה פנימית 1	6K11	15	15300	1	98	22.09	400	0	0	25
גוף חימום לבריכה פנימית 2	6K12	15	15300	1	98	22.09	400	0	0	25

כיול תרמי של מבטח	כיול מגנטי של מבטח	שטח חתך	כיול תרמי בפועל של המבטח	זרם מתמיד	סוג הבידוד של הכבי	סוג מבטח
10--16	130-220	5X2.5	10	24	XLPE	PKZ2
10--16	130-220	5X2.5	10	24	XLPE	PKZ2
10--16	130-220	5X2.5	10	24	XLPE	PKZ2
10--16	130-220	5X2.5	10	24	XLPE	PKZ2
10--16	130-220	5X2.5	10	24	XLPE	PKZ2
10--16	130-220	5X2.5	10	24	XLPE	PKZ2
10--16	130-220	5X2.5	10	24	XLPE	PKZ2
10--16	130-220	5X2.5	10	24	XLPE	PKZ2
10--16	130-220	5X2.5	10	24	XLPE	PKZ2
10--16	130-220	5X2.5	10	24	XLPE	PKZ2
		5X4		33	XLPE	c
		5X4		33	XLPE	c

2.6.1.2 שרטוט המעגלים לשדה כוח לוח משנה E-תאורה:



2.7 ריכוז הנתונים בטבלה:

כל הנתונים בטבלה מוזנים מכבלים עם בידוד מסוג XLPE כבלים מנחושת 90°C

לפי שיטת התקנה י"ד עפ"י דוניבסקי (שיטת התקנה באדמה)

שם הלוח	הספק כללי PT (KW)	הספק ריאקטיבי QT (KVAR)	מקדם הספק cosØ	זרם כללי IB (A)	שטח חתך (mm^2)	סוג מבטח	נתיך In(A)
A	93.826	41.303	0.91	148.819	50	-NZMH-1 160A	160
B	30.76	15.898	0.88	50.45	10	3X63A C	63
C	21.862	9.182	0.92	34.29	6	3X40A C	40
D	171.45	80.87	0.90	274.96	150	-NZMH-3 200A	300
E	131.04	55.02	0.92	205.54	95	-NZMH-2 250A	225
F	38.64	26.66	0.82	68.01	16	-NZMH-1 80A	80

-NZMH-2 250A-מפסק מתכייל בין 200-250Aאנו נכייל אותו ל 206A

-NZMH-3 400A-מפסק מתכייל בין 200-400Aאנו נכייל אותו ל 275A

-NZMH-1 80A- מפסק מתכייל בין 63-80A אנו נכייל אותו ל69A

160A-NZMH-1- מפסק מתכייל בין 125-160A אנו נכייל אותו ל149A

2.8 חישוב מפסק ראשי ללוח הראשי X:

לחישוב מפסק הלוח הראשי הכללי ניקח מקדם ביקוש של 0.9 (K1=0.9)

$$\Sigma P = 504.112KW$$

$$P* = P \cdot K1 = 504.112 \cdot 0.9 = 453.7008KW$$

$$\Sigma Q = 240.361KVAR$$

$$Q* = Q \cdot K1 = 240.361 \cdot 0.9 = 216.3249KVAR$$

$$Ib = \frac{P_t}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot \cos\emptyset} = \frac{453.7008 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = 711.80A$$

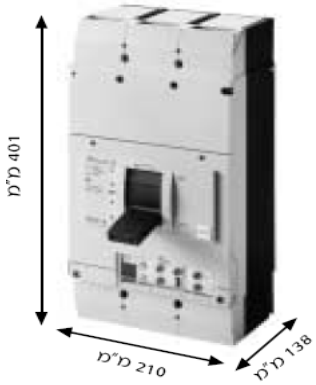
2.8.1 נבחר מפסק ראשי של:

NZMH4-AE800 מתוך הקטלוג של MOLLER מפסק ראשי עם הגנה תרמית ונכייל אותו ל 800A

$$In = 800A$$

מאמ"ת 3P עם הגנות אלקטרוניות דגם NZM4 עד 1600A

מק"ט	דגם	תחום כוונון הגנה תרמית A	תחום כוונון הגנה מגנטית A	כושר ניתוק KA
077870	NZMN4-AE630	315-630	1260-7560	50
077871	NZMN4-AE800	400-800	1600-9600	50
077872	NZMN4-AE1000	500-1000	2000-12000	50
077873	NZMN4-AE1250	630-1250	2500-15000	50
077874	NZMN4-AE1600	800-1600	3200-19200	50
077816	NZMH4-AE630	315-630	1260-7560	100
077876	NZMH4-AE800	400-800	1600-9600	100
077877	NZMH4-AE1000	500-1000	2000-12000	100
077878	NZMH4-AE1250	630-1250	2500-15000	100
077879	NZMH4-AE1600	800-1600	3200-19200	100



NZM4

2.9 חישוב ובחירת שטח חתך ללוח הראשי:

בחרתי בשיטת התקנה י"ד כבלים מנחושת עם בידוד XLPE 90℃ (י"ד היא שיטת התקנה באדמה) מתוך דוניבסקי טבלה 90.5 עמוד 170

יש לבדוק אם התנאי הבא מתקיים:

$$0.9 \cdot n \cdot Iz \cdot KT \geq In$$

n- מספר הכבלים

IZ- זרם מתמיד

KT- מקדם תיקון כללי והוא מחושב לפי הנוסחא: $KT = K18 \cdot K19 \cdot K20$

K18- מקדם הטמפרטורה של האדמה

K19- מקדם התקנת כבלים אחדים באדמה

K20- מקדם התנגדות התרמית הסגולית של האדמה.

- כעת אבדוק אם התנאי מתקיים עם 4 כבלים ($n = 4$)

LZ=339A על פי הטבלה נבחר

K18=1

K19=0.67 לפי הטבלה של התקנת *4* כבלים באדמה שהמרחק המזערי ביניהם הוא 7ס"מ

K20=1 לפי התנגדות תרמית סגולית של $120℃\ cm/W$

$$KT = K18 \cdot K19 \cdot K20 = 1 \cdot 0.67 \cdot 1 = 0.67$$

$$0.9 \cdot 4 \cdot 339 \cdot 0.67 = 817.668$$

$$817.668 \geq 800$$

- מסקנה: התנאי התקיים עם 4 כבלים בשטח חתך של $150mm^2$
- $4(4x150)$

2.10 חישוב ובחירת שנאי הזנה:

$$PT = 453.7008KW\ ,\quad QT = 216.3249KVAR$$

$$ST = \sqrt{PT^2 + QT^2} = \sqrt{[(453.7008 \cdot 10^3)^2 + (216.3249 \cdot 10^3)^2} = 502.633 \cdot 10^3(KVA)$$

- לא מומלץ שהשנאי יעבוד בעומס מלא
- ולכן קבעתי שהוא יעבוד בעומס של 80%

$$S = \frac{502.633}{0.8} = 628.291\ KVA$$

ולכן נבחר שנאי בגודל 630KVA

פרק 3
שיפור מקדם הספק

3.1 שיפור מקדם הספק:

מרבית מתקני החשמל הפועלים בזרם חילופין צורכים שני סוגי אנרגיה\הספק חשמלי.

1. אנרגיה "אקטיבית" (פעילה)- המשמשת לעבודה מכנית של מכונות חשמל לסוגיהן (חימום תאורה וכו) אנרגיה זו נמדדת ב קילוואט לשעה (קוט"ש KWH) בעזרת מונה אקטיבי.
2. אנרגיה "ריאקטיבי" (היגבית)- שאינה תורמת לעבודה המבוצעת אלא יוצרת שדה מגנטי הנחוץ לפעולת המתקן. אנרגיה זו נמדדת ב קילוואר לשעה (KVAR) בעזרת מונה ריאקטיבי.

כמו כן האנרגיה האקטיבית היא אנרגיה ממשית שנוצרת בתחנת הכוח מאנרגיה אחרת כגון:

שריפת דלקים,פחם,תחנות ירוקות (מפלי מים) וכו.

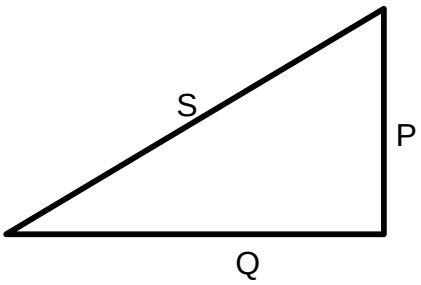
היא ניתנת להמרה לכול צורה אחרת של אנרגיה (מכנית,חום,תאורה וכו).

לעומת זאת האנרגיה הריאקטיבית איננה אנרגיה ממשית ולכן היא לא נוצרת מאנרגיה אחרת וגם לא ניתנת להמרה לצורה אחרת של אנרגיה. אין לאנרגיה הריאקטיבית כל תועלת טכנית או כלכלית לספק האנרגיה-חברת החשמל-ולצרכן,אלא להיפך היא גורמת לנזקים רבים לשני הצדדים. עקב כך מנסים להקטין את גודלה למינימום האפשרי.

הספק השראותי אינו מבצע עבודה חיונית אלא נע בתדירות כפולה בין המקור לצרכן. צורתו סינוסיאדלית וערכו הממוצע במשך מחזור שווה לאפס.

כמו כן במערכת החשמל מרבית העומסים ההיגביים הם עומסים השראתיים. כל מכשיר חשמלי אשר מכיל בתוכו סליל (שנאי,אלקטרו-מגנט,מנוע,משאבה וכו) הוא בעצם מכשיר אשר מהווה עומס השראותי.

3.1.1 משולש ההספקים:



$P(W)$ – הספק פעיל (אקטיבי)

$Q(VAR)$ -הספק ריאקטיבי

$S(VA)$ - הספק מדומה

CosØ- מקדם ההספק

Ø- הזוית בין המתח לזרם

- מקדם הספק נמוך פירושי הוצאות חשמל גבוהות.

כמו כן מקדם הספק ירוד של צרכנים גורם לתוצאות הבאות:

א. הגדלת ההשקעות הנדרשות בתשתית מערכת החשמל על כל מרכיביה.
ב. גידול בהפסדי האנרגיה במערכת החשמל של הצרכן וכפועל יוצא מכך עליה בצריכת החשמל ובתשלום. ההפסדים גדלים ביחס ישר לזרם בריבוע ($I^2 \cdot R$)

ג. עליה בהוצאות תחזוקה של מערכת החשמל.
ד. הגדלת גודל חיבור חשמל (הספק זמין) העומד לרשות הצרכן או לחילופין ניצול לא יעיל של גודל החיבור.
ה. הגדלת הוצאות החשמל עקב תשלום מיוחד לחברת החשמל בגין מקדם הספק נמוך.
ו. הגדלת מפלי המתח ברשתות החשמל של הצרכן.

כיוון שמקדם הספק ירוד של הצרכנים גורר אחריו הפסדים ניכרים ברשת , בשנאים ובגנראטורים וגורם להקטנת ניצולם היעיל, מחייבת חברת החשמל את הצרכנים התעשייתיים לנקוט באמצעים אשר יביאו לשיפור מקדם הספק בכול המפעלים או הקנטרי.

לפיכך לשיפור מקדם ההספק ישנה חשיבות כלכלית רבה ואת מפני שככל שמקדם ההספק יהיה קרוב ל 1 כך ההספק המדומה S המועבר במערכת החשמל יהיה קטן יותר ודרך כך ניתן להשתמש בשנאים קטנים יותר (השנאים נבחרים עפ"י ההספק המדומה S אשר אותו הם מעבירים).

הקטנת ההספק המדומה גורמת להקטנת הזרם במערכת החשמל אשר פועלת במתח נקוב קבוע ולהקטנת ההפסדים.

כתוצאה מזרם קטן ניתן להשתמש במוליכים בעלי שטח חתך קטן יותר לשם העברת ההספק. ככל שהזרם במערכת קטן יותר ניתן להשתמש באמצעי מיתוג והגנה זולים וקטנים יותר. שיפור מקדם ההספק גורם לשיפור ברמת המתח במערכת המסירה ולהקטנת איבודי האנרגיה במערכת.

3.1.2 קיימים מספר דרכים לשיפור מקדם ההספק:

א. שימוש במנועים אסינכרוניים שגודלם מותאם לעומס הנדרש, כלומר להתאים את המנועים לצריכה ממשית ולמנוע ככל האפשר את עבודתם בריקם.
ב. חיבור מנוע תלת מופעי בחיבור כוכב- כאשר העומס הנדרש ממנוע תלת מופעי המחובר בחיבור משולש הוא פחות ממחצית ההספק הנקוב, רצוי להחליף את צורת החיבור לכוכב. בצורה זו יורד ההספק הנקוב של המנוע פי 3 (דבר שיגרום למנוע לפעול עד עומס קרוב יותר להספקו הנקוב).
ג. שימוש בשנאים המתאימים לעומס-שנאים כמו מנועים אסינכרוניים מהווים עומס השראתי כמעט קבוע. עדיף להשתמש בשנאי שההספק הנקוב שלו קרוב ככל האפשר לעומס שהוא מספק.
ד. ניתוק עומסים הגבייים- ישנם מכשירים כמו מכונות ריתוך שהם בעצם שנאים למתח נמוך וזרם גבוה, העומס ההיגבי קיים כל הזמן,ולכן כאשר לא מבצעים פעולות ריתוך מעמיסים אותם בעומס פעיל לכן רצוי לנתקם כאשר אין בהם שימוש.
ה. הוספת קבלים במקביל לעומס השראותי זוהי הדרך המקובלת שנעשית בצורה מלאכותית כדי לשפר את מקדם ההספק. לשיפור מקדם ההספק במערכת תלת פאזית דרושים שלושה קבלים זהים אשר יכולים להיות מחוברים בכוכב או במשולש. בחיבור כוכב קיבול הקבל גדול פי 3 יותר מאשר בחיבור משולש באותו הספק.

3.2 שיטות להתקנת קבלים:

3.2.1 התקנת קבלים בשיטה בודדת:

בשיטה של התקנה בודדת מחברים קבל לכל מכשיר יחיד, אשר את מקדם הספק של אותו צרכן אנו רוצים לשפר. את הכבל מחברים במקביל לצרכן.

יתרונות:

ניתן לחבר ולנתק כל מערכת קבלים יחד עם המנוע שלה ועל ידי כך לשמור על מקדם הספק אופטימאלי ברשת.

תיקון מקדם הספק נעשה לאורך כל הרשת עד למנוע עצמו,לכן ניתן לחסוך בשטח החתך של כל מוליכים אשר מובילים מהמקור למנוע.

חסרונות:

החיסרון בשיטה זו הוא השימוש במספר רב של יחידות קבלים ולכן היא שיטה יקרה.

3.2.2 התקנת קבלים בשיטה קבוצתית:

בשיטה זו משתמשים בהתקנה קבוצתית לשיפור מקדם ההספק של קבוצת מכשירים שאינם פועלים כולם בו זמנית או שהעומס אינו קבוע כך שמקדם ההספק של המתקן משתנה. כמו כן בשיטה זו מחברים את הקבל לקבוצת מכשירים לפי מקדם הספק הממוצע של הקבוצה.

יתרונות:

היתרון בשיטה זו הוא בכך שמשתמשים במספר קבלים מופחת לשם השיפור.

חסרונות:

החיסרון בשיטה זו הוא בכך שכאשר חלק מהמנועים באחת הקבוצות לא יעבדו מקדם ההספק באותה הקבוצה לא יהיה כנדרש.

3.2.3 התקנת קבלים בשיטה מרכזית:

בשיטה זו מחברים קבלים בנקודה מרכזית של המתקן,למשל בלוח הראשי, לשם שיפור מקדם ההספק של כל המתקן, בכדי להתאים את הספק הקבלים למקדם ההספק המשתנה בדרך כלל, עם שעות היום או לפי תהליכי ייצור שונים, דרוש להתקין לקבלים וסת הספק אוטומטי.

יתרונות:

לשיטה זו ישנו יתרון ברור על פני השיטות האחרות, והוא בכך שאנו מחברים יחידת קבלים אחת ולא מספר רב של יחידות קבלים, שהוא חיסכון במספר הקבלים. ומתקנים בעזרתה את מקדם ההספק של כל המתקן על ידי בקר בעל מערכת פיקוד שמודדת כל הזמן את מקדם ההספק ומשפרת אותו באופן אוטומטי.

ולכן בחרתי בפרויקט להשתמש בשיטה זו.

חסרונות:

ישנו קושי לתקן את ההספק בצורה מדויקת וזאת במיוחד בגלל שכאשר לא כל המנועים פועלים בו זמנית והעומס משתנה במשך הזמן. לשם כך יש צורך לחבר מערכת פיקוד אשר תמדוד כל הזמן את מקדם ההספק ותשנה את מספר הקבלים אשר מחוברים לרשת באופן אוטומטי.

תיקון מקדם ההספק נעשה רק על קטע הרשת אשר מחבר את המקור אל נקודת הפיצול של הרשת למנועים ולקבלים.

3.3 חישוב התקנה מרכזית:

חישוב מקדם ההספק לפני השיפור:

$$PT = 453.7008KW\ ,\quad QT = 216.3249KVAR$$

$tan\varphi 1 = \frac{QT}{PT} = \frac{216.3249}{453.7008} = 0.47,\quad cos\varphi 1 = 0.902$ לפני השיפור.

מקדם ההספק לאחר השיפור הוא:

$$cos\varphi 2 = 0.92, \quad tan\varphi 2 = 0.42$$

חישוב הספק הסוללה:

$$QC = PT(tan\varphi 1 - tan\varphi 2) = 453.7008 \cdot 10^3 \cdot (0.47 - 0.42) = 22.685 KVar$$

עפ"י הטבלה בעמוד 374 של דוניבסקי נבחר 2 סוללות קבלים כאשר שלושתן בגודל של *12.5kvar* כל אחת מהן, כך שסך ההספק שלהן יהיה *25kvar*

חישוב הזרם בנצרך ע"י סוללת קבלים של *QC=12.5kvar*:

$$IC = \frac{QC}{U \cdot \sqrt{3}} = \frac{12500}{400 \cdot \sqrt{3}} = 18.04A$$

- בעת חיבור סוללת הקבלים נוצר במתקן החשמלי מצב שקרוב לחיבור בקצר. ולכן הזרם של המפסק יוכפל במקדם ביטחון של 1.43.

$$In = 1.43 \cdot IC = 1.43 \cdot 18.04 = 25.797A$$

גודל המפסק שבחרתי הוא $3x32A$ סוג המפסק הוא *PKZM0*, נשתמש בטבלה 90.1 לבחירת שטח החתך.

סוג הכבל יהיה בעל בידוד מסוג *XLPE* העשוי מנחושת ובעל שטח חתך של $4X6mm^2$

פרק 4

מפלי מתח

4.1 מפלי מתח:

צרכנים המחוברים לרשת החשמל מתכוננים לעבוד במתח קבוע (400 או V230) אך ברשת החשמל ישנה תופעה המונעת קיום תנאי זה. היא נקראת מפלי מתח.

מפלי מתח הינם הפסדים של מתח המתבזבז על המוליכים. כאשר זורם זרם במוליך נוצר על המוליך מפל מתח וזאת מפני שלכל מוליך יש התנגדות.

כמו כן מפל מתח המרבי בין הדקי הצרכן לבין נקודת צריכה כלשהי במתקן הצרכן לא יעלה על 3% מהמתח הנומינאלי של הרשת.

על-פי תקנות חברת החשמל, מפל המתח ממהדקי השנאי ועד לצרכן לא יעלה על 10% מהמתח הנומינאלי הנקוב של הרשת.

בגלל שיש שני סוגי רשתות- תלת פאזית וחד פאזית, בזרם חילופין אז לכול סוג של רשת יש נוסחאות:

עבור צרכנים חד פאזיים- התנגדות המוליכים (R) תחושב לפי הנוסחא הבאה:

$$\mathrm{R} = \frac{L}{\rho \cdot A}$$

כאשר:

L[M]- אורך המוליך.

$\rho \left[\frac{m}{\Omega \cdot mm^2}\right]$ – המוליכות הסגולית של המוליך.

$\mathrm{A}[\mathrm{mm}^2]$ - שטח החתך של המוליך.

עבור צרכנים תלת פאזיים ההתנגדות (R) תחושב לפי הנוסחא הבאה:

$$R = \frac{\sqrt{3} \cdot L}{\rho \cdot A}$$

הגורמים למפלי מתח גבוהים הם:

א. מרחק גדול בין המכונה ללוח משנה\ראשי או לשנאי.
ב. זרמים גבוהים במכונה.

ירידת המתח מקטינה את תפוקת הצרכנים או מפסיקה את עבודתם לחלוטין. כמו כן ניתן לשפר את מפלי המתח על-ידי הגדלת שטח החתך של המוליך או הקטנת המרחק בין המכונה ללוח.

4.2 חישוב מפלי מתח בין השנאי ללוח הראשי:

אורך $L[m]$	שטח חתך $A[mm^2]$	מס' כבלים n	cosØ	sinØ	זרם בקטע $[A]$	מתח $[V]$
45.5	150	4	0.92	0.39	711.80	**400**

4.2.1חישוב מפל מתח מרבי ממשי:

נתונים:

$\rho = 57$ (המוליכות הסגולית של מוליך העשוי נחושת)

$X0 = 0.07$ (נתון ע"י חברת החשמל)

$$\Delta Ua = \frac{\sqrt{3}}{\rho \cdot A \cdot n} \cdot \Sigma(I \cdot L \cdot COS\varphi) = \frac{\sqrt{3}}{57 \cdot 150 \cdot 4} \cdot \Sigma(711.80 \cdot 45.5 \cdot 0.92) = 1.509V$$

4.2.2 חישוב מפל מתח מרבי היגבי:

$$\Delta Ur = \frac{\sqrt{3} \cdot X0}{n \cdot 1000} \cdot \Sigma(I \cdot L \cdot sin\varphi) = \frac{\sqrt{3} \cdot 0.07}{4 \cdot 1000} \cdot \Sigma(711.80 \cdot 45.5 \cdot 0.39) = 0.38V$$

4.2.3 חישוב מפל מתח כללי:

$$\Delta U = \Delta Ua + \Delta Ur = 1.509 + 0.38 = 1.889V$$

הפיכת מפל מתח כללי למפל מתח באחוזים:

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100 = \frac{1.889}{400} \cdot 100 = 0.4722\%$$

4.2.4 בדיקה אם קטן מ 10% בין השנאי ללוח הראשי:

$$0.4722\% < 10\%$$

ניתן לראות שמפל המתח בין השנאי ללוח הראשי עומד בתקן.

4.3 חישוב מפלי המתח בין הלוח הראשי ללוחות המשנה:

4.3.1 חישוב מפל מתח בין הלוח הראשי ללוח המשנה A:

אורך $L[m]$	שטח חתך $A[mm^2]$	מס' כבלים n	cosØ	sinØ	זרם בקטע $[A]$	מתח $[V]$
4	50	1	0.91	0.41	148.819	**400**

$$\Delta Ua = \frac{\sqrt{3}}{\rho \cdot A \cdot n} \cdot \Sigma(I \cdot L \cdot COS\varphi) = \frac{\sqrt{3}}{57 \cdot 50 \cdot 1} \cdot \Sigma(148.819 \cdot 4 \cdot 0.91) = 0.32V$$

$$\Delta Ur = \frac{\sqrt{3} \cdot X0}{n \cdot 1000} \cdot \Sigma(I \cdot L \cdot sin\varphi) = \frac{\sqrt{3} \cdot 0.07}{1 \cdot 1000} \cdot \Sigma(148.819 \cdot 4 \cdot 0.41) = 0.029V$$

$$\Delta U = \Delta Ua + \Delta Ur = 0.32 + 0.029 = 0.349V$$

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100 = \frac{0.349}{400} \cdot 100 = 0.087\%$$

$$0.087\% < 3\%$$

4.3.2 את כל שאר החישובים לכול הלוחות נכניס בתוך טבלה:

לוח	IB[A]	cosØ	sinØ	L[M]	XO	A	n	[V] Ua	[V] Ur	U [V]	U%
A	148.819	0.91	0.41	4	0.07	50	1	0.32	0.029	0.349	0.087
B	50.45	0.88	0.47	4	0.07	10	1	0.269	0.0054	0.27	0.06
C	34.29	0.92	0.39	10	0.07	6	1	1.59	0.016	1.606	0.401
D	274.96	0.90	0.43	30	0.07	150	1	1.503	0.43	1.933	0.483
E	205.54	0.92	0.39	100	0.07	95	1	6.04	0.97	7.01	1.752
F	68.01	0.82	0.57	35	0.07	16	1	3.7	0.164	3.864	0.966

לפי הטבלה הנ"ל כל חישובי ה $\Delta U\%$ קטן מ 3% וזה אומר שכול הלוחות עומדים בתקן מהלוח הראשי.

4.4 חישוב מפל מתח בין הלוח הראשי למכונה הכי רחוקה:

המכונה הכי רחוקה הוא מנוע מגלשת המים המוזן מלוח F הנמצא מאחורי המבנה הראשי בתוך צריף.

4.4.1 הנתונים מהלוח הראשי ללוח משנה F:

לוח	IB[A]	cosØ	sinØ	L[M]	XO	A	n	[V] Ua1	[V] Ur1
F	68.01	0.82	0.57	35	0.07	16	1	3.7	0.164

4.4.2 נתונים מלוח משנה F למנוע המגלשה:

אורך $L[m]$	שטח חתך $A[mm^2]$	מס' כבלים n	cosØ	sinØ	זרם בקטע $[A]$	מתח $[V]$
140	4	1	0.82	0.57	9.71	**400**

$$\Delta Ua2 = \frac{\sqrt{3}}{\rho \cdot A \cdot n} \cdot \Sigma(I \cdot L \cdot COS\varphi) = \frac{\sqrt{3}}{57 \cdot 6 \cdot 1} \cdot \Sigma(9.47 \cdot 140 \cdot 0.82) = 8.25V$$

$$\Delta Ur2 = \frac{\sqrt{3} \cdot X0}{n \cdot 1000} \cdot \Sigma(I \cdot L \cdot sin\varphi) = \frac{\sqrt{3} \cdot 0.07}{1 \cdot 1000} \cdot \Sigma(9.47 \cdot 140 \cdot 0.57) = 0.09V$$

4.4.3 חישוב מפל מתח כללי:

$$\Delta UaT = \Delta Ua1 + \Delta Ua2 = 3.7 + 8.25 = 5.505V$$

$$\Delta UrT = \Delta Ur1 + \Delta Ur2 = 0.164 + 0.09 = 0.254V$$

$$\Delta U = \Delta Ua + \Delta Ur = 5.505 + 0.254 = 5.759V$$

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100 = \frac{5.759}{400} \cdot 100 = 1.439\%$$

$$1.439\% < 3\%$$

ניתן לראות שמפל המתח בין הלוח הראשי לבין המכונה הכי רחוקה עומד בתקן.

4.5 חישוב מפל מתח בין הלוח הראשי למכונה הכי עמוסה:

המכונה הכי עמוסה היא מערכת המיזוג המרכזי היא מוזנת מלוח A שנמצא בקומת הקרקע של המבנה הראשי בתוך חדר החשמל.

4.5.1 הנתונים מהלוח הראשי ללוח משנה A:

לוח	IB[A]	cosØ	sinØ	L[M]	XO	A	n	[V] Ua2	[V] Ur1
A	148.819	0.91	0.41	4	0.07	50	1	0.32	0.029

4.5.2 נתונים מלוח משנה A למערכת המיזוג המרכזי:

אורך $L[m]$	שטח חתך A$[mm^2]$	מס' כבלים n	cosØ	sinØ	זרם בקטע $[A]$	מתח $[V]$
14	10	1	0.88	0.47	43.9	**400**

$$\Delta Ua2 = \frac{\sqrt{3}}{\rho \cdot A \cdot n} \cdot \Sigma(I \cdot L \cdot COS\varphi) = \frac{\sqrt{3}}{57 \cdot 10 \cdot 1} \cdot \Sigma(43.9 \cdot 14 \cdot 0.88) = 1.64V$$

$$\Delta Ur2 = \frac{\sqrt{3} \cdot X0}{n \cdot 1000} \cdot \Sigma(I \cdot L \cdot sin\varphi) = \frac{\sqrt{3} \cdot 0.07}{1 \cdot 1000} \cdot \Sigma(43.9 \cdot 14 \cdot 0.47) = 0.074V$$

4.5.3 חישוב מפל מתח כללי:

$$\Delta UaT = \Delta Ua1 + \Delta Ua2 = 0.32 + 1.64 = 1.96V$$

$$\Delta UrT = \Delta Ur1 + \Delta Ur2 = 0.074 + 0.029 = 0.103V$$

$$\Delta U = \Delta Ua + \Delta Ur = 1.96 + 0.103 = 2.063V$$

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100 = \frac{2.063}{400} \cdot 100 = 0.515\%$$

$$0.515\% < 3\%$$

ניתן לראות שמפל המתח בין הלוח הראשי לבין המכונה הכי עמוסה עומד בתקן.

פרק 5
זרמי קצר

5.1 זרמי קצר:

קצר הוא חיבור חשמלי הנוצר בין שני מוליכים הנמצאים בפוטנציאל שונה. חיבור בין מוליך הפאזה למוליך האפס, חיבור בין מוליך הפאזה למוליך הארקה, חיבור בין שני מוליכי מופע שונים ברשת תלת פאזית , או חיבור של מוליך פאזה לגוף מתכתי המחובר לאדמה.

קצר יכול להיגרם גם באמצעות קשת חשמלית כאשר המרחק בין המוליכים קטן מידי.

תהליך הקצר הוא מהיר מאוד, כאשר הזרם עולה בצורה חדה ומהירה ומגיע לערכו המרבי תוך פחות ממאית השנייה. אמצעי הגנה בפני זרמי קצר צריכים להיות מספיק מהירים כדי שאפשר יהיה לנתק את זרם הקצר לפני שיגרם נזק מכני או תרמי לציוד החשמלי.

5.1.1 השפעת זרם הקצר:

זרם הקצר משפיע על המערכת החשמלית בצורה תרמית ובצורה מכנית.

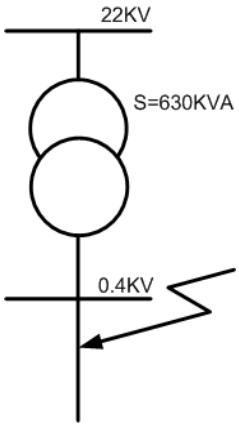
תרמית:

- כתוצאה מזרם הקצר נוצר חום גבוה אשר משפיע על המוליכים. כמו כן החום יכול להתיך את הבידוד של המוליך ולעיתים להתיך את המוליך ולגרום לשריפה.

מכנית:

- בזמן הקצר הזרם עולה בבת אחת לערך גבוה מאוד, וזרם זה יוצר כוח דחייה בין המוליכים העלול לגרום לנזק לחיזוקי המוליכים ולמבנה בו הם מותקנים.
  מוליכים שזורם בהם זרם קצר עלולים להיתלש מנקודת חיבורם והם עלולים לקרוע ולשבור חלקים מכאניים המחוברים אליהם.

5.2 חישוב זרם קצר בשנאי:



$$XT = \frac{UX\% \cdot U^2}{100 \cdot ST} = \frac{4.314 \cdot 400^2}{100 \cdot 630 \cdot 10^3} = 0.01\Omega$$

$$RT = \frac{Ur\% \cdot U^2}{100 \cdot ST} = \frac{0.867 \cdot 400^2}{100 \cdot 630 \cdot 10^3} = 0.0022\Omega$$

$$Z = \sqrt{XT^2 + RT^2} = \sqrt{0.0022^2 + 0.011^2} = 0.01\Omega$$

$$IK = \frac{1.1 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z} = \frac{1.1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0.01} = 25.4KA$$

5.3 חישוב זרם הלם:

את K1 נוכל לחשב ע"י הטבלה הבאה:

R/X	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2
K	2	1.72	1.54	1.4	1.31	1.22	1.19	1.13	1.11	1.09	1.07	1.05	1.03

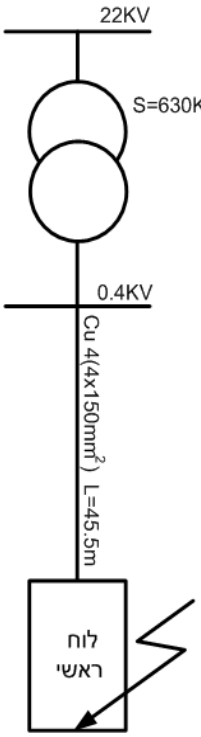
$$\frac{R}{X} = \frac{0.0022}{0.01} = 0.22 \rightarrow K1 = 1.48$$

זרם הלם. $IP = \sqrt{2} \cdot K1 \cdot IK = \sqrt{2} \cdot 1.48 \cdot 25.4 \cdot 10^3 = 53160A$

5.4 חישוב זרם קצר בלוח הראשי:

נתונים:

לוח	מתח הקצר U[V]	מספר כבלים n	שטח חתך $[mm^2]$	מרחק L[m]	Ur%	UX%	התנגדות השנאי למופע 1 RT[Ω/ph]	היגב השנאי למופע 1 XT[Ω/Ph]
ראשי	400	4	150	45.5	0.867	4.314	0.0022	0.01



$$X0 = 0.07\Omega/KM$$

$$XL = \frac{X0 \cdot L}{1000 \cdot n} = \frac{0.07 \cdot 45.5}{1000 \cdot 4} = 796.25 \cdot 10^{-6}\Omega$$

$$RL = \frac{L}{\rho \cdot A \cdot n} = \frac{45.5}{57 \cdot 150 \cdot 4} = 1.33 \cdot 10^{-3}\Omega$$

$$ZK = \sqrt{\Sigma R^2 + \Sigma X^2} = \sqrt{(0.0022 + 1.33 \cdot 10^{-3})^2 + (0.01 + 796.25 \cdot 10^{-6})^2} = 0.01\Omega$$

זרם הקצר $IK = \frac{1.1 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z} = \frac{1.1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0.01} = 25.4KA$

$$\frac{\Sigma R}{\Sigma X} = \frac{0.0022 + 1.33 \cdot 10^{-3}}{0.01 + 796.25 \cdot 10^{-6}} = 0.32 \rightarrow K1 = 1.36$$

זרם הלם $IP = \sqrt{2} \cdot K1 \cdot IK = \sqrt{2} \cdot 1.36 \cdot 25.4 \cdot 10^3 = 48852.59A$

5.5 חישוב זרם קצר בלוח A:

לוח	מתח הקצר U[V]	מספר כבלים n	שטח חתך $[mm^2]$	מרחק L[m]	Ur%	UX%	התנגדות השנאי למופע 1 RT[Ω/ph]	היגב השנאי למופע 1 XT[Ω/Ph]	התנגדות הקו RL [KΩ]	היגב הקו XL [KΩ]
ראשי	400	4	150	45.5	0.867	4.314	0.0022	0.01	1.33	796.25
A	400	1	50	4	0.867	4.314	0.0022	0.01	1.4	280

$$X0 = 0.07\Omega/KM$$

$$XL = \frac{X0 \cdot L}{1000 \cdot n} = \frac{0.07 \cdot 4}{1000 \cdot 1} = 280 \cdot 10^{-6}\Omega$$

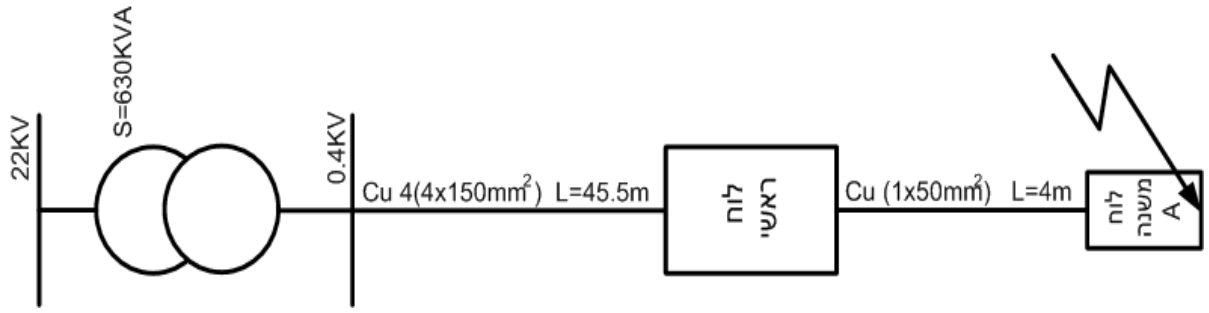
$$RL = \frac{L}{\rho \cdot A \cdot n} = \frac{4}{57 \cdot 50 \cdot 1} = 1.4 \cdot 10^{-3}\Omega$$

$$ZK = \sqrt{\Sigma R^2 + \Sigma X^2} =$$
$$\sqrt{(0.0022 + 1.33 \cdot 10^{-3} + 1.4 \cdot 10^{-3})^2 + (0.01 + 796.25 \cdot 10^{-6} + 280 \cdot 10^{-6})^2} = 0.01\Omega$$

זרם הקצר $IK = \frac{1.1 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z} = \frac{1.1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0.01} = 25.4KA$

$$\frac{\Sigma R}{\Sigma X} = \frac{0.002 + 1.33 \cdot 10^{-3} + 1.4 \cdot 10^{-3}}{0.01 + 796.25 \cdot 10^{-6} + 280 \cdot 10^{-6}} = 0.44 \rightarrow K1 = 1.26$$

זרם הלם $IP = \sqrt{2} \cdot K1 \cdot IK = \sqrt{2} \cdot 1.26 \cdot 25.4 \cdot 10^3 = 45260.49A$



5.6 את כל שאר חישובי הלוחות נכניס בתוך טבלה:

לוח	מתח הקצר U[V]	מספר כבלים n	שטח חתך A $[mm^2]$	מרחק L[m]	Ur%	UX%	התנגדות השנאי למופע 1 RT[Ω/ph]	היגב השנאי למופע 1 XT[Ω/Ph]	התנגדות הקו RL [Ω]	היגב הקו XL [Ω]	זרם קצר IK (KA)	זרם הלם IP[KA]
ראשי	400	4	150	45.5	0.867	4.314	0.022	0.01	$1.33 \cdot 10^{-3}$	$796.25 \cdot 10^{-6}$	25.4	48.85
A	400	1	50	4	0.867	4.314	0.022	0.01	$1.4 \cdot 10^{-3}$	$280 \cdot 10^{-6}$	25.4	45.26
B	400	1	10	4	0.867	4.314	0.022	0.01	$7.01 \cdot 10^{-3}$	$280 \cdot 10^{-6}$	25.4	38.79
C	400	1	6	10	0.867	4.314	0.022	0.01	0.029	$700 \cdot 10^{-6}$	8.46	12.56
D	400	1	150	30	0.867	4.314	0.022	0.01	$3.508 \cdot 10^{-}$	$2.1 \cdot 10^{-3}$	25.4	43.1
E	400	1	95	100	0.867	4.314	0.022	0.01	0.018	$7000 \cdot 10^{-6}$	12.7	18.49
F	400	1	16	35	0.867	4.314	0.022	0.01	0.038	$2.45 \cdot 10^{-3}$	6.35	9.78

5.7 חישוב זרם קצר במכונה הכי רחוקה מוזנת מלוח F:

$$X0 = 0.07\Omega/KM$$

$$XL = \frac{X0 \cdot L}{1000 \cdot n} = \frac{0.07 \cdot 140}{1000 \cdot 1} = 9.8 \cdot 10^{-3}\Omega$$

$$RL = \frac{L}{\rho \cdot A \cdot n} = \frac{140}{57 \cdot 4 \cdot 1} = 0.061\Omega$$

$$ZK = \sqrt{\Sigma R^2 + \Sigma X^2} = \sqrt{(0.0022 + 1.33 \cdot 10^{-3} + 0.038 + 0.061)^2 + (0.01 + 796.25 \cdot 10^{-6} + 2.45 \cdot 10^{-3} + 9.8 \cdot}$$
$$0.1\Omega$$

$$\mathrm{IK} = \frac{1.1 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z} = \frac{1.1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0.1} = 2.54KA$$

$$\frac{\Sigma R}{\Sigma X} = \frac{0.0022 + 1.33 \cdot 10^{-3} + 0.038 + 0.061}{0.01 + 796.25 \cdot 10^{-6} + 2.45 \cdot 10^{-3} + 9.8 \cdot 10^{-3}} = 1.2 \rightarrow K1 = 1.03$$

זרם הלם $IP = \sqrt{2} \cdot K1 \cdot IK = \sqrt{2} \cdot 1.03 \cdot 2.54 \cdot 10^3 = 3699.86A$

5.8 חישוב זרם קצר במכונה הכי עמוסה:

$$X0 = 0.07\Omega/KM$$

$$\mathrm{XL} = \frac{X0 \cdot L}{1000 \cdot n} = \frac{0.07 \cdot 14}{1000 \cdot 1} = 980 \cdot 10^{-6}\Omega$$

$$\mathrm{RL} = \frac{L}{\rho \cdot A \cdot n} = \frac{14}{57 \cdot 10 \cdot 1} = 0.024\Omega$$

$$\mathrm{ZK} = \sqrt{\Sigma \mathrm{R}^2 + \Sigma \mathrm{X}^2} = \sqrt{(0.0022 + 1.33 \cdot 10^{-3} + 1.4 \cdot 10^{-3} + 0.024)^2 + (0.01 + 796.25 \cdot 10^{-6} + 280 \cdot 10^{-6} + 9}$$
$$0.06\Omega$$

$$\mathrm{IK} = \frac{1.1 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z} = \frac{1.1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0.06} = 4.23KA$$

$$\frac{\Sigma R}{\Sigma X} = \frac{0.0022 + 1.33 \cdot 10^{-3} + 1.4 \cdot 10^{-3} + 0.024}{0.01 + 796.25 \cdot 10^{-6} + 280 \cdot 10^{-6} + 980 \cdot 10^{-6}} = 1.2 \rightarrow K1 = 1.03$$

זרם הלם $IP = \sqrt{2} \cdot K1 \cdot IK = \sqrt{2} \cdot 1.03 \cdot 4.23 \cdot 10^3 = 6161.58A$

5.9 זרמי קצר מינימאליים:

זרם קצר מינימאלי מחשבים כדי לבדוק את יציבות המוליך אשר מזין את אותו הצרכן בפני זרם קצר. הזמן המותר שבו יזרם זרם קצר במוליך מבלי לגרום נזק למוליך לא יעלה על 5 שניות. כעבור פרק הזמן הזה תיווצר במוליך התחממות יתרה אשר יכולה להתיך את המוליך . לפיכך המבטח המגן על הצרכן חייב לנתקו תוך פחות מ 5 שניות. הספק לגבי יכולת המפסק להתמודד עם זרם קצר נמוך, נובע מהחשש שזרם קצר יהיה מתחת לסף הרגישות של המבטח.

נחשב את זרם הקצר המינימאלי כדי לבדוק את יציבות המוליך שמזין את המכונה הרחוקה בפני זרם קצר.

$$\Sigma R\text{ph} = \Sigma R0 = 1.33 \cdot 10^{-3} + 0.038 + 0.061 = 0.10033\Omega$$

כאשר:

$\Sigma R\text{ph}$ - התנגדות מוליך הפאזה מהלוח הראשי ללוח המשני F ולמכונה.

$\Sigma R0$ - התנגדות מוליך האפס מהלוח הראשי ללוח המשני F ולמכונה.

נחשב את זרם הקצר המינימאלי:

$$\text{IK}min = \frac{0.8 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot 1.5 \cdot (\Sigma R\text{ph} + \Sigma R0)} = \frac{0.8 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 1.5 \cdot (0.10033 + 0.10033)} = 613.81KA$$

כאשר:

0.8- מקדם ירידת המתח הנובע ממפל מתח בשנאי ובקו המזין את המתקן.

1.5- מקדם עליית התגדות המוליכים 50% בעת זרם קצר.

את חישוב הניתוק בזמן קצר נחשב עפ"י:

$$t = \left(\frac{K \cdot A}{IK}\right)^2 = \left(\frac{140 \cdot 4}{613.81}\right)^2 = 0.832sec$$

כאשר:

A- שטח החתך.

K- מקדם (עבור בידוד XLPE עשוי נחושת הוא 140)

לפי תוצאה זו ($0.832sec$) ניתן לראות שזמן התגובה נמוך מ 5 שניות ולכן התנאי מתקיים.

פרק 6

פסי צבירה

6.1 פסי צבירה:

פסי הצבירה הם מרכיב חשוב בלוחות החשמל ובמתקני החשמל.

כמו כן תפקיד פסי הצבירה הוא לחבר ישירות בין מעגל ההזנה של הלוח,לבין מעגלים היוצאים מהלוח,לצרכנים השונים. השימוש בפסי הצירה מאפשר לבצע חיבורים ניחים למספר גדול של יציאות, תוך אפשרות להעביר זרמים גדולים.

קיים שתי צורות שונות של פסי צבירה: מלבן,עגול, כאשר הצורה הנפוצה היא מלבן וזאת מפני שהם קלים לעיבוד והם מאפשרים תנאי קירור טובים.

כמו כן פסים אלו יכולים להיות מותקנים כפסים יחידים או מקביליים, כאשר יש צורך להעביר זרמים גדולים.

פסי הצבירה מותקנים כאשר הם מחוזקים על-ידי מבודדי תמיכה העשויים מחרסינה או מחומרים מבודיים אחרים.

המרחק בין נקודות החיזוק של הפסים חייב להתאים לכול הכוחות האלקטרו-דינאמיים העשויים להתפתח במתקן בזמן הופעת זרם קצר.

יש לבדוק את יציבותם של פסי הצבירה, וזאת ע"י שלושה בדיקות:

א. יציבות תרמית
ב. יציבות דינמית
ג. יציבות בתהודה מכנית.

$\mathrm{IK} = 25.4KA$ בלוח הראשי

$d = 15\ cm$ המרחק בין פסי הצבירה

$\mathrm{L} = 80cm$ אורך פס הצבירה

$h = 60mm = 6cm$ גובה פס הצבירה

$b = 10mm = 1cm$ רוחב פס הצבירה

$g = 8.9g/cm^3$ משקל סגולי של הפס העשוי נחושת

$E = 1230 \cdot 10^3 Kg/cm^3$ מקדם האלסטיות של פס הצבירה העשוי נחושת.

$c = 165$ עבור פס צבירה עשוי נחושת

$\mathrm{A} = 600mm^2$ שטח החתך של פס הצבירה

6.2 בדיקת יציבות תרמית:

$$t = \left(\frac{140 \cdot A}{IK}\right)^2 = \left(\frac{140 \cdot 150}{25.4 \cdot 10^3}\right)^2 = 0.68SEC$$

$$Amin = \frac{IK \cdot \sqrt{t}}{C} = \frac{25.4 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{0.68}}{165} = 126.94mm^2$$

מסקנה:

ניתן לראות שהתנאי $Amin < A$ מתקיים.

ולכן פסי הצבירה יכולים לעמוד מבחינת יציבות תרמית.

6.3 בדיקת יציבות דינמית:

$$F = 1.76 \cdot \frac{IP^2}{d} = 1.76 \cdot \frac{48.852^2}{20} = 210.01Kg/m$$

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6} = \frac{1^2 \cdot 6}{6} = 1cm^3$$

חישוב הכול הפועל על פס הצבירה בין שני מבודדים:

$$P = F \cdot \frac{L}{100} = 210.01 \cdot \frac{80}{100} = 168.01$$

6.4 חישוב מאמץ כפיפה:

$$\sigma = \frac{P \cdot L}{12 \cdot W} = \frac{168.01 \cdot 80}{12 \cdot 1} = 1120.07kg/cm^3$$

על מנת שפסי הצבירה יהיו יציבים מבחינה דינמית צריך להתקיים התנאי הבא:

σ מחושב $< \sigma$ מקסימלי

$\sigma = 1250kg/cm^3$ מקסימלי

$\sigma = 1120.07kg/cm^3$ מחושב

$1120.07 < 1250$

מסקנה:

התנאי מתקיים, ולכן פסי הצבירה יכולים לעמוד מבחינת יציבות דינמית.

בדיקת יציבות בתהודה מכנית:

6.5 חישוב מומנט אינרציה:

$$J = \frac{b^3 \cdot h}{12} = \frac{1^3 \cdot 6}{12} = 0.5cm^4$$

חישוב משקל הפס באורך של *1cm*:

$$G = g \cdot b \cdot h = 8.9 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 6 = 0.0534kg$$

6.6 חישוב תדר תהודה עצמית:

$$F = \frac{112}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{G}} = \frac{112}{80^2} \cdot \sqrt{\frac{1230 \cdot 10^8 \cdot 0.5}{0.0534}} = 59.38HZ$$

תחום התדרים שאסור שתדר התהודה העצמית יהיה הוא $\pm 10\%$ מתדר הרשת. כלומר:

תחום התדרים האסור הוא בין $45 - 55HZ$.

ניתן לראות לפי החישוב הנ"ל שתדר התהודה העצמית לא נמצא בתחום התדרים האסור, ולכן פסי הצבירה עמידים מבחינת תהודה מכנית.

פרק 1
סלקטיביות

7.1 סלקטיביות:

עקרון הסלקטיביות (מדרג הגנות) מוגדר כהפעלה של אמצעי ההגנה הקרוב ביותר למקום התקלה. מערכת החשמל היא מערכת מורכבת. יש בה מספר רב של צרכנים המחוברים דרך רשתות למקורות שונים. במערכת כזו יש כמובן מספר רב של אמצעי הגנה, שכל אחד מגן על חלק אחר של המערכת. כשישנה תקלה אצל אחד הצרכנים צריך לפעול רק אמצעי ההגנה המגן על חלק הרשת המחובר עליו.

אחרת תופסק אספקת החשמל לצרכנים נוספים (מבלי שיהיה צורך בכך). כמו כן גם כאשר יש תקלה ברשת צריך לפעול רק אמצעי הגנה המגן על אותו חלק ברשת שבו התקלה.

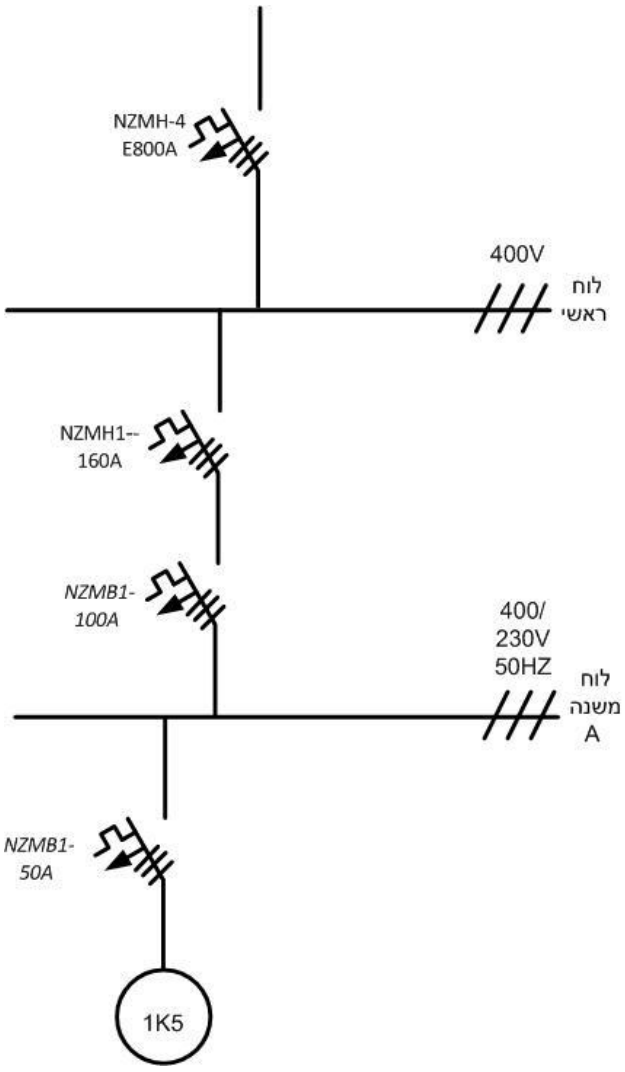
7.1.1 תנאים לסלקטיביות:

א. במקרה של תקלה במערכת, צריכים התקני ההגנה נגד זרם יתר לפעול מהר ככל האפשר ולנתק את המעגל המושפע מהתקלה.
ב. זרמי מעבר גבוהים כמו אלה שנוצרים בעת ההתנעת מנועים אינם צריכים לגרום לניתוק המעגל.
ג. מערכת סלקטיביות מתוכננת כך שאם ההגנה הקרובה ביותר לתקלה אינה פועלת, צריכה להיכנס לפעולה ההגנה המחוברת אליה בטור. תנאי זה נועד לשמור על כללי הבטיחות המקובלים והנדרשים ע"י החוק.

7.1.2 לסיכום:

הסלקטיביות במתקן החשמלי הכרחית משום שבמתקן חשמלי ישנם מספר רב של צרכנים המחוברים דרך רשתות למקורות שונים, לכן יש מספר רב של אמצעי הגנה אשר כל אמצעי מגן על חלק אחר במתקן. כמו כן כאשר ישנה תקלה באחד מהצרכנים לא כל הצרכנים מתנתקים אלא רק אותו צרכן שבו ישנה התקלה.

7.1.3 תרשים זרימה:



פרק 8
הגבות

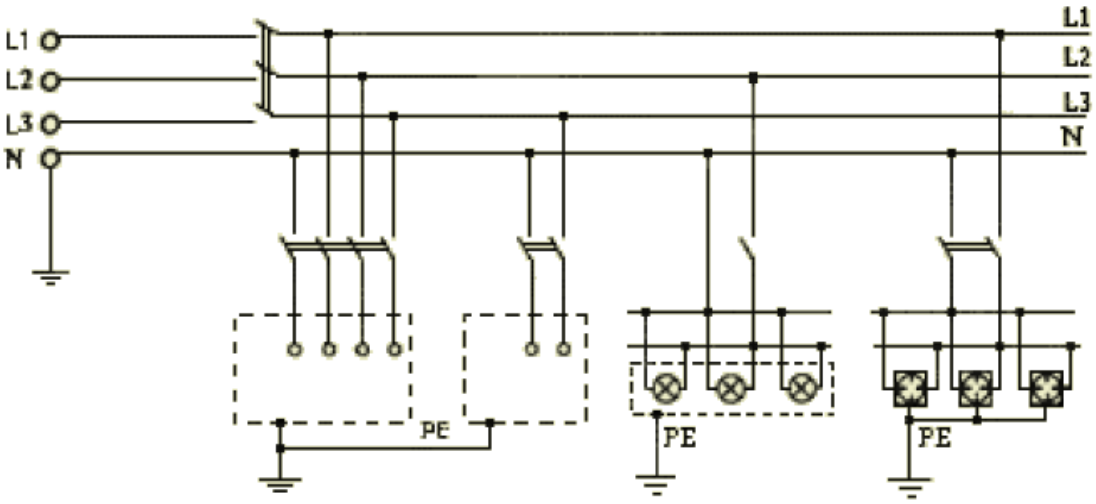
8 הגנות:

8.1 הארקת הגנה:

במקומות מסוימים שבהם אין הארקת יסוד (צריפים,מבנים טרומיים ללא יסודות) משתמשים בשיטת "הארקת הגנה". למעשה זו הייתה השיטה המקובלת ביותר עד שנות ה-80. בשיטה זו מחוברים חלקי המתכת של מכשירי החשמל למוליך אדמה המחובר לגוף מתכתי הנמצא באדמה (הארקה), גוף מתכתי זה יכול להיות צנרת מים העשויה מתכת או אלקטרודות הגנה מיוחדות השקועות באדמה, שיטה זו כוללת הארקת שיטה.

קיימים תנאים לשימוש ב"הארקת הגנה":

א. התנגדות בין האלקטרודה המקומית לבין המסה הכללית של האדמה אסור שתעלה על Ω5.
ב. התנגדות עכבת לולאת התקלה וזרם הקצר בה, במקרה של קצר בין מוליך הפאזה לבין מוליך הארקה יהיה כפי שנקבע במתקן המוגן בשיטת האיפוס.
- השימוש בהארקת הגנה במתקנים חדשים מועט ביותר.



8.2 שיטת האיפוס:

"איפוס" הינו אמצעי הגנה בפני התחשמלות שבו מובטחת רציפות מתכתית של לולאת התקלה ממקור הזינה (שנאי או גנראטור) וחזרה אליו, באמצעות מוליך האפס של רשת החלוקה (יקרא במקרה זה מוליך "PEN") ולא רק באמצעות המסה הכללית של האדמה, כמו בהארקת הגנה. הרעיון שבשיטה זו הוא לאפס את הפוטנציאל החשמלי של חלקי המתכת שבגוף המכשיר, ועל ידי כך למנוע הופעת מתח חשמלי מסוכן עליהם. למטרה זו מחברים בכניסת הרשת למבנה, בקרבת המבטח הראשי את האפס של הרשת (מוליך PEN) אל פס השוואת הפוטנציאלים.

הכינוי מוליך"PEN" מתייחס רק למוליך האפס של הרשת, הכינוי במתקן נשאר "מוליך האפס" ניתן להשתמש באיפוס רק כאשר הרשת מתאימה לכך. מנקודת הכניסה של הרשת למבנה והלאה, בתוך המתקן.

קיימים לאפס ולהארקה מוליכים נפרדים, ללא כל חיבור ביניהם: מוליכים בצבע כחול לאפס ובצבע צהוב-ירוק להארקה.

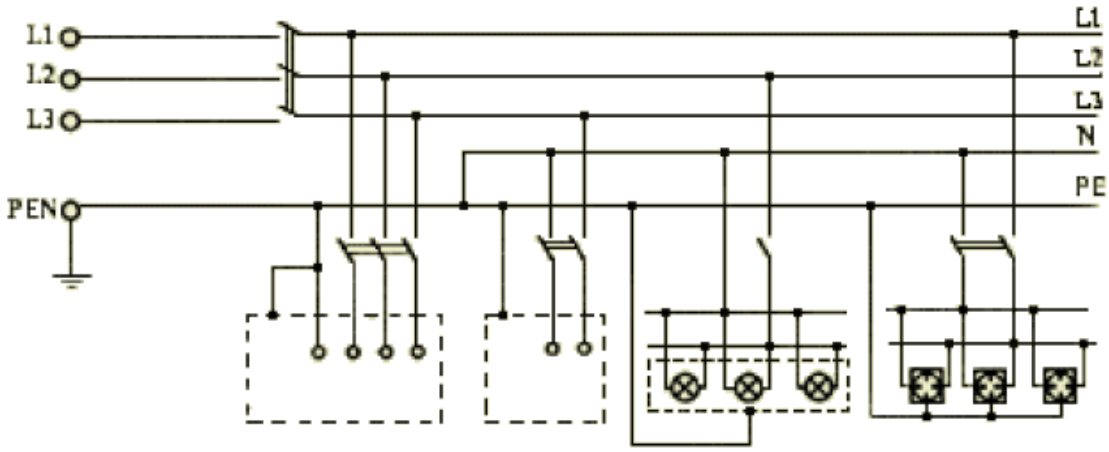
בתקן המוגן ע"י שיטת האיפוס כמו בכול מתקן אחר אין בשום פנים לחבר גוף מתכתי של מכשיר חשמלי למוליך האפס.

שיטת ההגנה ע"י שיטת האיפוס היא השיטה הנפוצה ביותר להגנת מתקני חשמל חדשים בפני התחשמלות בגלל אמינותה ובגלל המגבלות בשימוש בצנרת מים לצורכי הארקה.

כמו כן המתכת שבמכשיר מחוברת למוליך הארקה של הרשת ומוליך זה מחובר בכניסה למתקן למוליך האפס. חיבור מוליך הארקה למוליך האפס נעשה על גבי פס השוואת הפוטנציאלים מחובר גם להארקת יסוד ולצנרת המים העשויים מתכת. בשיטה זו נמצאים כל חלקי המתכת של המכשירים בפוטנציאל אדמה וההתנגדות בינם לבין נקודת האפס של המקור נמוכה מאוד.

יתרון שיטת האיפוס:

הזרם החשמלי בזמן תקלה מורכב ממוליכים שהותקנו לצורך כך ולכן ההתנגדות נמוכה. לכן התנגדות נמוכה זו מבטיחה שהזרם בזמן תקלה יגרום לפעולת אמצעי ההגנה על הקו.



8.3 מפסק מגן הפועל בזרם דלף:

מפסק מגן (ממסר פחת) הוא מפסק המגן בפני התחשמלות המחובר בכניסה למתקן ומופעל כאשר יש זליגה של זרם בגלל בידוד לא תקין. מותר להשתמש בדרך כלל במפסק מגן להגנה בפני התחשמלות רק כתוספת לשיטת הגנה אחרת כמו איפוס או הארקת הגנה, על מנת להקטין את סכנת ההתחשמלות. השימוש במפסק מגן שרגישותו 30 מילי-אמפר (או פחות) מקטין גם סכנה של התחשמלות בעת נגיעה בחלק חי.

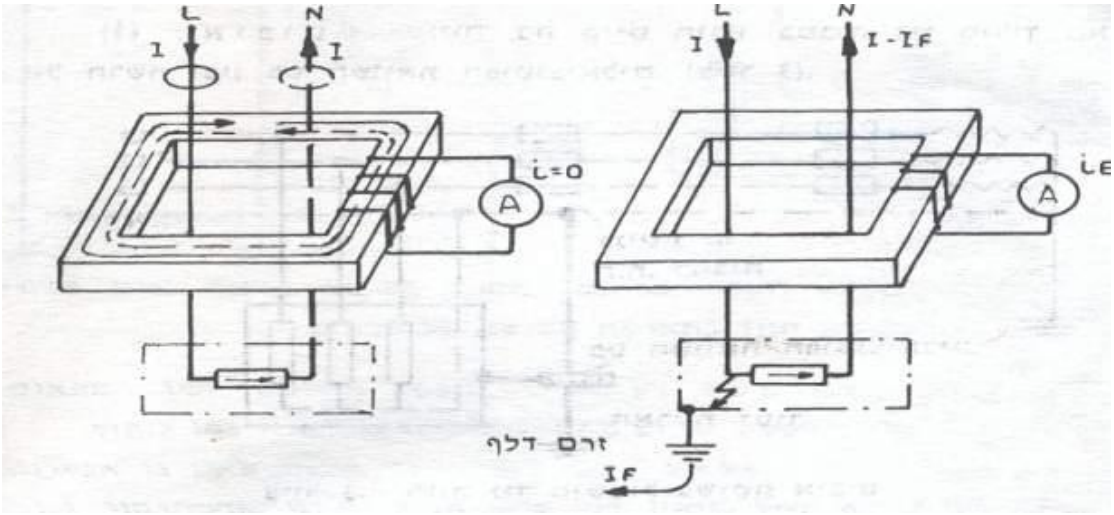
קיימים בכול זאת מתקנים שבהם מותר להשתמש במפסק מגל כהגנה יחידה, ללא הגנה אחרת נגד התחשמלות ,כמו במקרים הבאים:

א. במתקן ארעי כמו קרון מגורים או מבנה ארעי אחר או אתר בניה.
ב. במבנה שהשתמשו בו בהארקת הגנה ובגלל סיבה כלשהיא, כמו החלפת צינורות מתכתיים בצינורות אל מתכתיים אין יותר במבנה הארקה אמינה כפי שהייתה קודם והתנאים במתקן אינם מאפשרים איפוס.
ג. במבנה אשר בו ההתנגדות של הארקת יסוד למסה הכללית של האדמה עולה על Ω20 ולא ניתן להשתמש הארקת הגנה בגלל ערך גבוה של עכבת לולאת התקלה.
ד. בפנסי תאורה או שלטי חוצות על עמודים מחומר מוליך.
ה. בכל מתקן אח, לפי אישורו של מנהל ענייני החשמל במשרד האנרגיה והתשתיות.

כללים לשימוש במפסק מגן:

א. יש להקפיד שהזרם הנקוב של המפסק מתאים לזרם המרבי שעשוי לעבור דרכו.

ב. מפסק מגל חייב להיות מסוגל לנתק את המעגל בזמן קצר הפאזה לאדמה בלי נזק למפסק.
ג. קיימת חובת התקנת מפסק מגן בכול לוח במתקן דירתי. כל המעגלים יוגנו בפני זרם פחת שעולה על 30mA.
ד. המפסק יותקן בין המפסק הראשי לבין מבטחי המעגלים הסופיים או להיות משולב כיחידה אחת עם המפסק הראשי.
ה. קיימת בחוק דרישה לבדיקה תקופתית של מפסק מגן ללא פירוט תדירות הבדיקה,כאשר תדירות הבדיקה נקבעת לפי תנאי העבודה של המפסק כמו רמת ההגנה בפני אבק נוזלים וכו.



8.4 סוגי ההגנות בקנטרי:

בקנטרי שתכננתי בפרויקט קימת הגנה המבוססת על-פי שיטת האיפוס, מפסק מגן,ובידוד כפול.