

עקרונות תכנון תחנות טרנספורמציה

קורס תכנון תחנות טרנספורמציה למהנדסים

פברואר 2022

מידע דרוש לפני תכנון

- מידע חשמלי

- ערך מתח הגבוה של המעגל ממנו תוזן תחנת טרנספורמציה

- סוג הציוד מ"ג בתחנה,

- גודל החדרים (מידות/ גובה)

- הגנות הדרושות במסדר מ"ג

- מספר וגודל השנאים

- מספר יציאות במ"ג להזנת הבניין \leq גודל המובלים וכוונם

מידע לגבי סביבת חדר/ ההשנאה והציוד מ"ג ומ"נ

- קרבה לים
- גובה מי תהום
- צינורות מים בסביבה
- מאגרי מים
- חדר גז/ צובר גז (תקנים: NFPA 497, ת"י 6236)
- מיפוי/ תכנון מערכות עם גבהים לצורך ביצוע סופרפוזיציה
- גובה הקומות דרכם יתוכננו מובלים
- התייעצות עם יועץ בטיחות של הבניין
- התייעצות עם יועץ קרקע, במקרה של בחירת מבנה עצמאי לתחנת טרנספורמציה

הוצע מיקום. האם הוא מתאים?

• גישה לחדר שנאים

- גישה לטכנאי 24/7
- גישה להובלת הציוד עד קרבת המקום בו יורד להמשך הזזה אופקית
- דרך גישה להובלת ציוד על הקרקע
- רצוי מאוד מפולס, ברוחב של הציוד הרחב יותר +0,8 מ' לפחות
- רוחב דלת כניסה לחדר – כמו הדרך גישה
- רדיוס סיבוב לאפשר את האלכסון הארוך של הציוד לעבור
- דלת נוספת, למילוט, באם החדר ארוך מ-12 מ'

הובלה באמצעות משאית-מנוף



קומה טכנית

הוצע מקום. האם הוא מתאים?

- גודל המקום המיועד
- אפשרויות הצבת הציוד
 - בחדר אחד
 - בחדרים נפרדים (שנאי/ם בנפרד, ציוד מיתוג מ"ג/ מ"נ בנפרד
 - ניתן לבדוק לאחר ידיעת הסכמה
 - צורת קירור הציוד (איוורור טבעי/ מאולץ, מיזוג)
- שמירת מרחקים בין המכשירים השונים ובין הציוד והקירות
 - לצורך תפעול
 - לצורך שינוע הציוד
 - ביצוע כבילה

מבנה תחנת טרנספורמציה

דרישות:

- חוזק מכני מתאים למשקל הציוד
- עמידה באש
- עמידה בפיצוץ פנימי (1000 קג\מ"ר)
- עמידה ברעידת אדמה
- אפשרות כבילה קלה יחסית באמצעות כבלים עם חתכים גדולים

המלצה : מבנה בטון , עובי 20 ס"מ, עם גימור טיח +סיד לבן
רצפה כפולה (מרתף כבלים) בגובה מינ' 0,9 – 1 מ'

מבנה תחנת טרנספורמציה



מבנה תחנת טרנספורמציה

דרישות:

- מדרגות: רוחב 0,9 מ',
- המדרגות יהיו מבטון במידות:
 - שלח: 27"ס"מ
 - רום: 17"ס"מ
 - לאורך המדרגות יותקן מאחז יד (מעקה)
 - גובה המעקה יהיה 90 ס"מ ממשטח המדרגה.
 - המעקה יחוזק ויורכב בצורה שתבטיח את יציבותו המלאה.
- נידרש לבנות מדרגות לפני הדלת לכניסת אנשים אם הרצפה העליונה של התחט"פ נמצאת במפלס מעל מפלס קרקע.
- פני הרצפה יוחלקו, כך שיתקבלו פני בטון ישרים וחלקים לחלוטין (ברמת החלקה באמצעות "הליקופטר").
- ברצפה התחתונה יש לבצע שיפוע של 2% מכל כיוון אל נקודת שאיבת השמן שנשפך או כל נוזל אחר.

מבנה תחנת טרנספורמציה

מידות החדר/ים:

- בהתאם לצוד שיותקן בו
 - גובה החדר , בהתאם לגובה הציוד
 - מינ' 2,50 במקרה של ציוד מ"ג 22 ק"ו
 - מינ' 3 מ' במקרה של ציוד מ"ג 33 ק"ו
 - בכל מקרה, יש לדרוש גובה החדר לפחות 80 ס"מ גבוה יותר מגובה הציוד
- הגבוה ביותר שיותקן באותו חדר

מבנה תחנת טרנספורמציה

חוזק המבנה:

- בטון ב-30
- **מצב עמיסה A** : עומס אופייני שימושי מפורס 1500 ק"ג למ"ר עבור השנאים עד גודל 1000 קו"א. לשנאים גדולים יותר העומס האופייני השימושי יגדל ביחס ישר לזה.
- **מצב עמיסה B**: יופעלו עומסים מקומיים ניידים במשקל שנאי הכבד ביותר שמתוכנן להיות מותקן בחדר, אשר יכולים להימצא באופן אקראי בכל מקום בשטח הרצפה, ובנוסף יופעל עומס אופייני שימושי מפורס 500 ק"ג למ"ר בכל שטח הרצפה, חוץ ממקום השנאים. כמות העומסים המקומיים הניידים תהיה בהתאם לכמות השנאים המיועדים לתחנה
- הרצפה התחתונה תתוכנן לעומס אופייני שימושי מפורס 500 ק"ג למ"ר.
- התכנון הנ"ל לא מאפשר כניסה לתוך חדר השנאים עם מלגזה. עם רוצים בזאת, יש לתכנן את הרצפה לעומס של ציוד + מלגזה

דרישות עבור המשטח החיצוני/ פנימי להורדת הציווד

מצב עמיסה A: עומס אופייני שימושי מפורס 1500 ק"ג למ"ר עבור השנאים עד גודל 1000 קו"א. לשנאים גדולים יותר העומס האופייני השימושי יגדל ביחס ישר לזה.

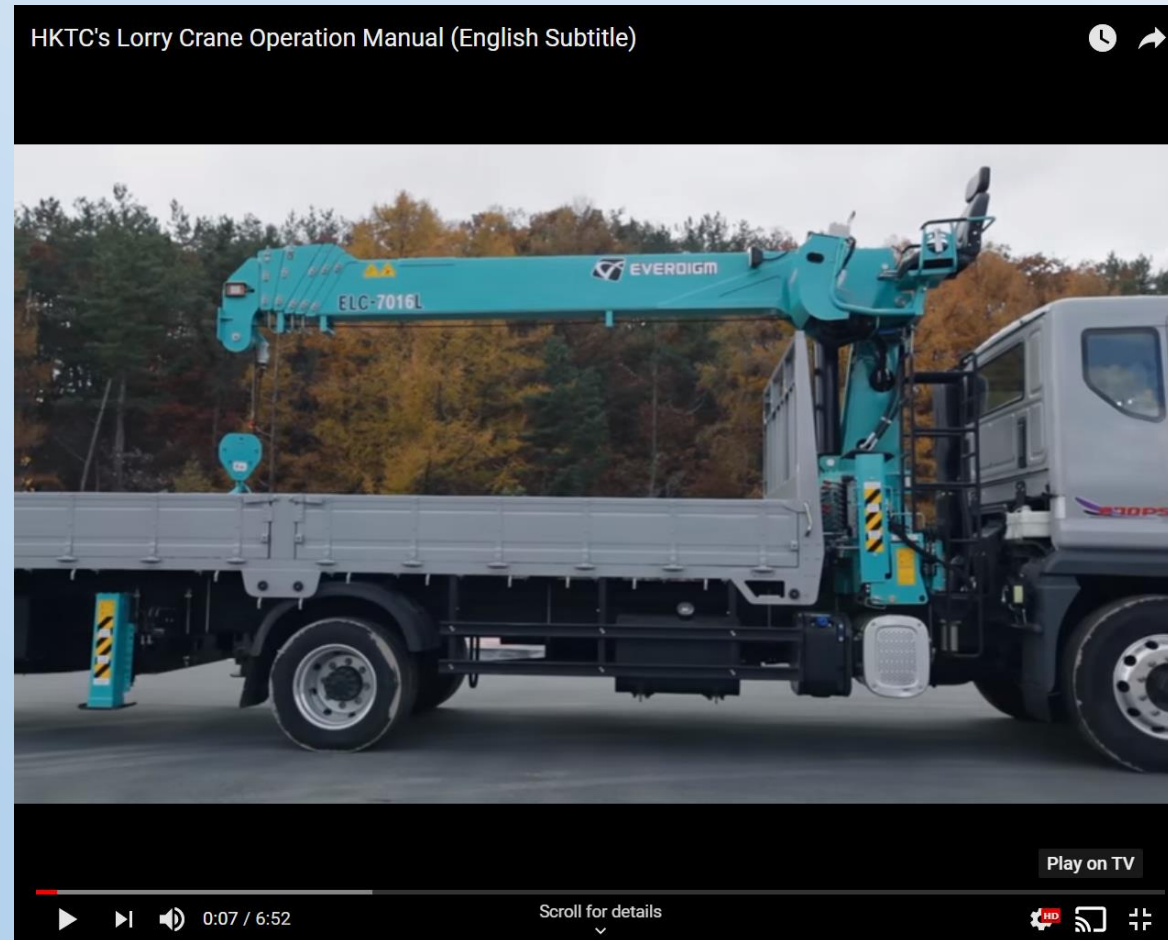
מצב עמיסה B: יופעלו עומסים מקומיים ניידים במשקל שווה ל-120% ממשקל שנאי הכבד ביותר שמתוכנן להיות הורד לאותו משטח. (מקדם דינמי 1,2), אשר יכולים להימצא באופן אקראי בכל מקום בשטח המשטח, ובנוסף יופעל עומס אופייני שימושי מפורס 500 ק"ג למ"ר בכל שטח הרצפה, חוץ ממקום השנאים. כמות העומסים המקומיים הניידים תהיה בהתאם לכמות השנאים המיועדים לתחנה

מצב עמיסה D: במידה שהמשטח להורדת הציווד מהווה חלק מרצפת חניה לרכב כבד (מעל 6 טון) או חלק מרצפה המיועדת לעומס כבד אחר, יש לתכנן את המשטח גם לעומס כבד זה, בהתאם לדרישות ת"י 412. התכנון הנ"ל לא מאפשר כניסה לתוך חדר השנאים עם מלגזה.

גישה לרכב

- דרך הגישה תחושב בהתאם למוגדר בת"י 412 , סעיף 5.7
- השיפוע המרבי של דרך הגישה הינו 5%.
- מידות המשטח הנדרש לפריקת הציוד באמצעות משאית מנוף הינו: 9x10 מ'.
- בהתחשבות בצד הנחוץ לפתיחת המייצבים – 7x10 מ'
- דוגמה לקביעת העומסים המותרים עבור דרך הגישה ומקום העמדת המשאית-מנוף:
 - בזמן פריקת הציוד ממשאית המנוף, פועל כוח שימושי של 17,6 טון על רגל המייצבים הקדמיים. הכוח השימושי של 17,6 טון יכול להימצא באופן אקראי בכל מקום בתחום משטח פריקת הציוד.
 - משאית מנוף של חח"י: - משקל משאית ריקה – 23 טון
 - משקל מטען על המשאית – 9 טון –
 - סה"כ משקל משאית ומטען – 32 טון
 - המרחק בין המייצב הקדמי לאחורי של המשאית – 7 מ'
 - המרחק בין רגלי המייצב הקדמי – 8,3 מ'
 - המרחק בין רגלי המייצב האחורי – 4.1 מ'
 - מרכז כובד משאית ריקה 1.1 מ' מהמייצב הקדמי (בכוון המייצב האחורי)

הובלה באמצעות משאית-מנוף



עקרונות שמירת טמפרטורת עבודה בתחנות טרנספורמציה

- תוצאות העלאת הטמפרטורה השנאים מעבר למתוכנן ע"י היצרן:
 - ירידת אורך החיים של השנאי
 - תקלות בצידוד
 - שריפות (אם השנאי הינו שנאי עם קירור בשמן)
- קירור השנאי:
 - איוורור טבעי
 - איוורור מאולץ
 - AC (מיזוג האוויר)

אוורור טבעי בחדר שנאיים / לוחות השמל

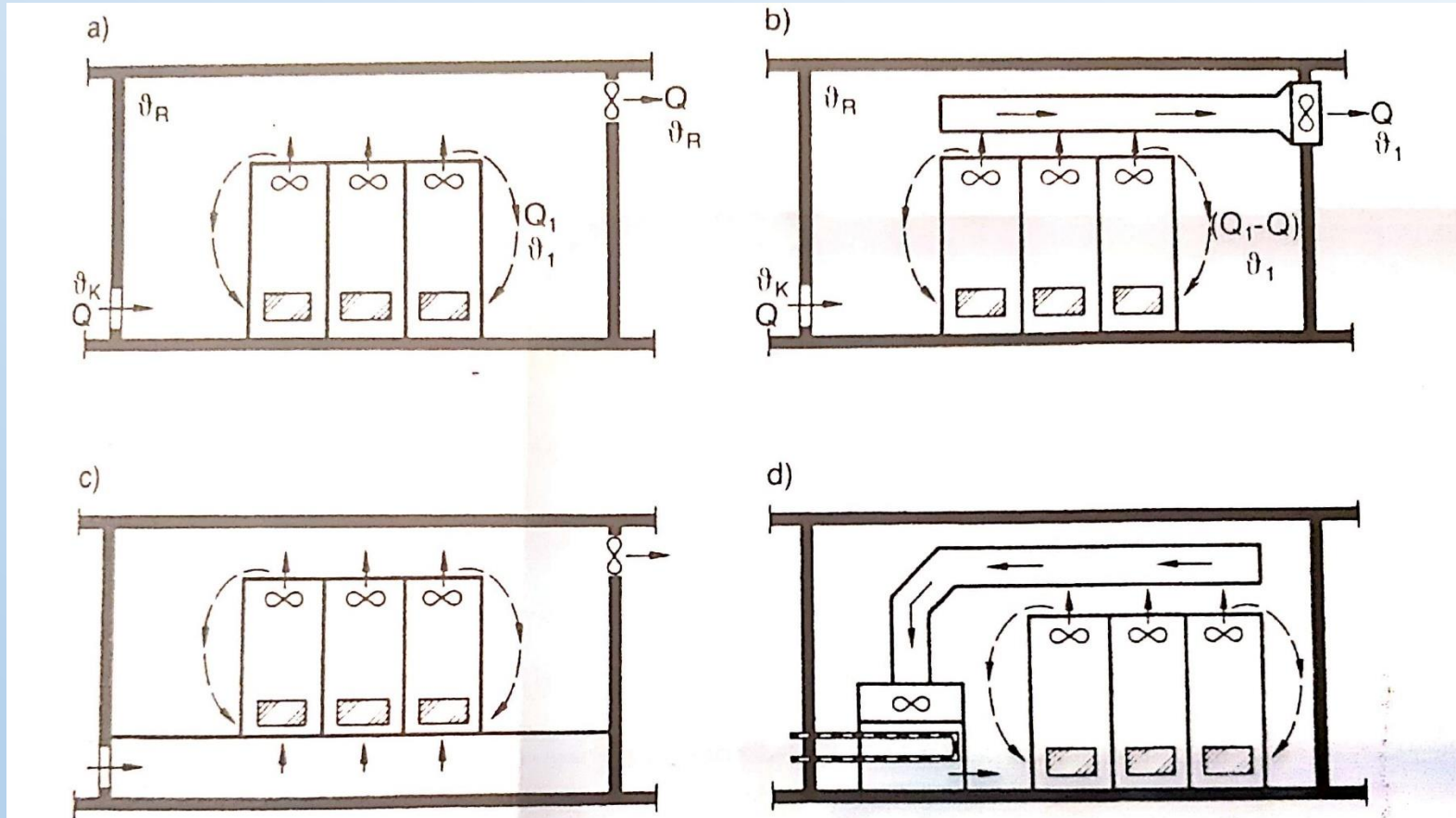
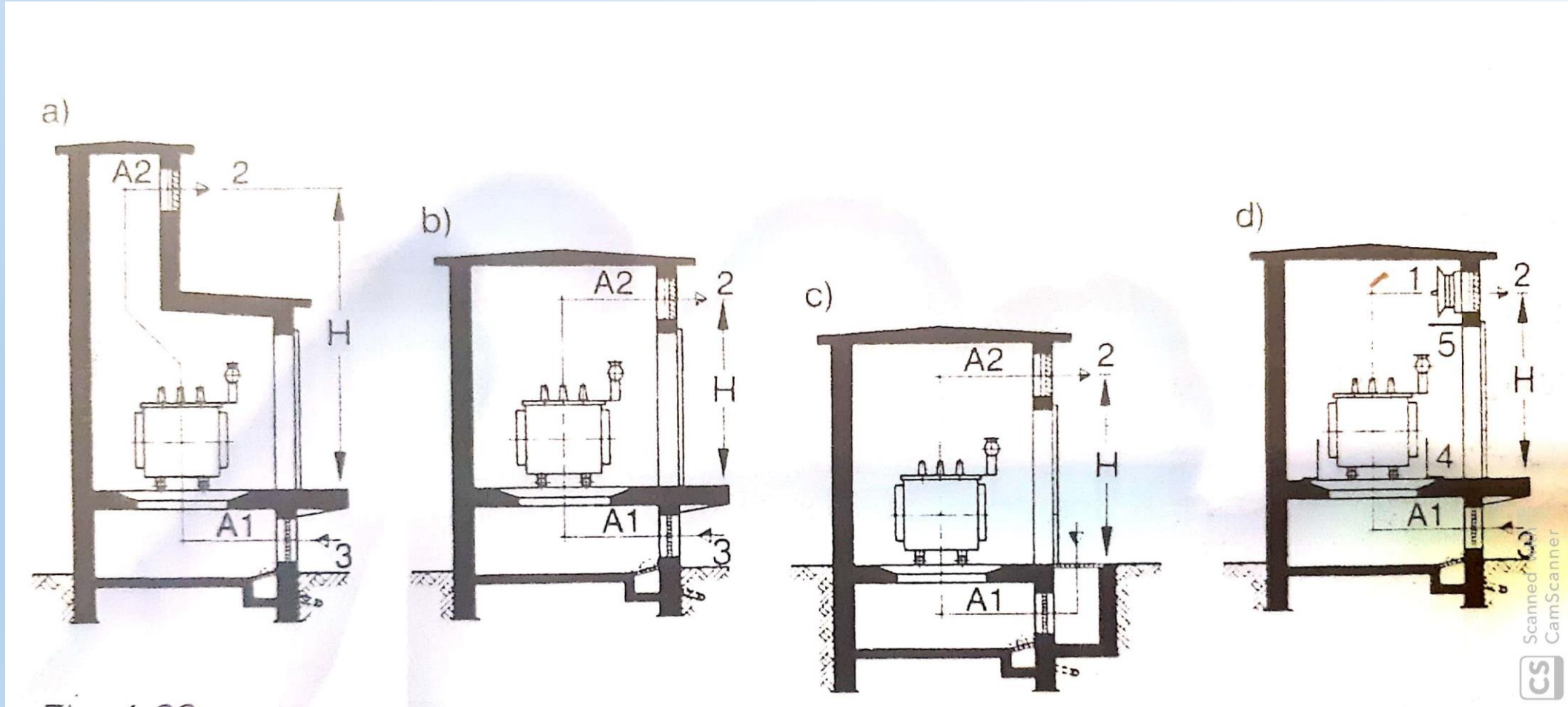


Fig. 4-27

Compartment ventilation: a) Simple compartment ventilation, b) compartment ventilation with exhaust hood above the switchboard, c) ventilation with false floor, d) ventilation with recirculating cooling system

אוורור של חדר הכולל בתוכו שנאי



דוגמאות של הפסדי חום של מכשירים שונים:

Motor Control Centers



- Low voltage breaker 0-40 Amps : 10 Watts
- Low voltage breaker 50-100 Amps : 20 Watts
- Low voltage breaker 225 Amps : 60 Watts
- Low voltage breaker 400 Amps : 100 Watts
- Low voltage breaker 600 Amps : 130 Watts
- Low voltage breaker 800 Amps : 170 Watts
- Low voltage breaker 1600 Amps : 460 Watts
- Low voltage breaker 2000 Amps : 600 Watts
- Low voltage breaker 3000 Amps : 1100 Watts
- Low voltage breaker 4000 Amps : 1500 Watts
- Medium voltage breaker/switch 600 Amps : 1000 Watts
- Medium voltage breaker/switch 1200 Amps : 1500 Watts
- Medium voltage breaker/switch 2000 Amps : 2000 Watts
- Medium voltage breaker/switch 2500 Amps : 2500 Watts

- Section : 500 Watts per section
- Low voltage starters size 00 : 50 Watts
- Low voltage starters size 0 : 50 Watts
- Low voltage starters size 1 : 50 Watts
- Low voltage starters size 2 : 100 Watts
- Low voltage starters size 3 : 130 Watts
- Low voltage starters size 4 : 200 Watts

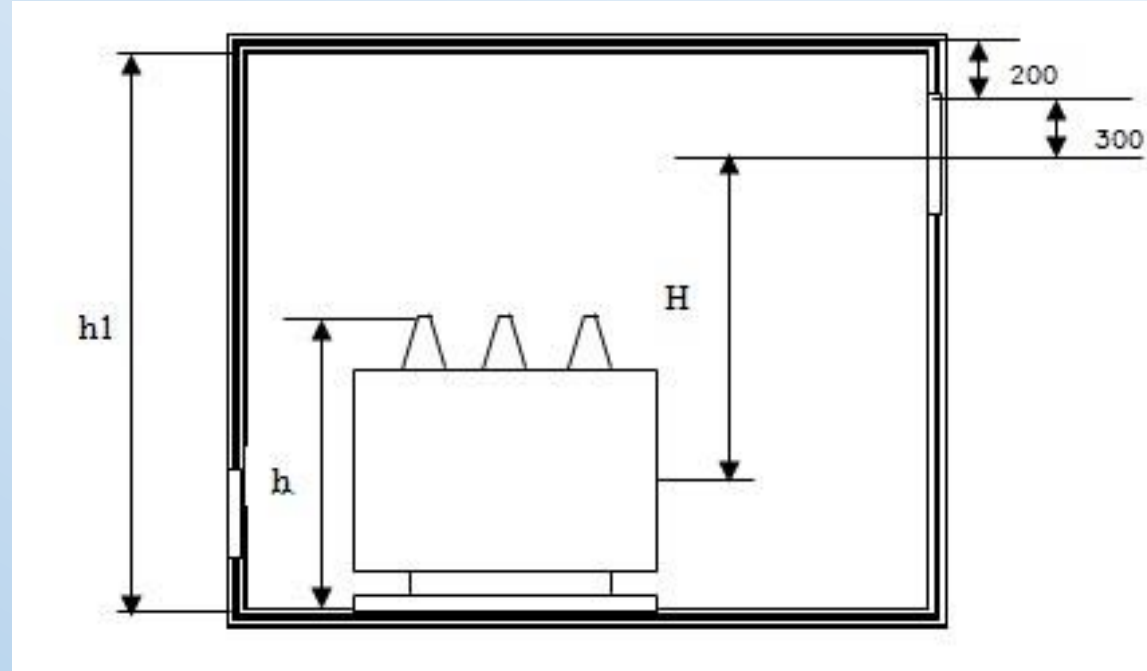


- Section : 500 Watts per section
- Low voltage starters size 00 : 50 Watts •
- Low voltage starters size 0 : 50 Watts •
- Low voltage starters size 1 : 50 Watts •
- Low voltage starters size 2 : 100 Watts •
- Low voltage starters size 3 : 130 Watts •
- Low voltage starters size 4 : 200 Watts •
- Low voltage starters size 5 : 300 Watts •
- Low voltage starters size 6 : 650 Watts •
- Medium voltage starters size 200 Amp : 400 Watts •
- Medium voltage starters size 400 Amp : 1300 Watts •
- Medium voltage starters size 700 Amp : 1700 Watts •

אוורור טבעי של חדרי שנאים

- יעילות האוורור הטבעי מושפעת ע"י:
 - גובה החדר
 - הפרש גובה בין חלון כניסת האוויר לחלון יציאת האוויר
 - גובה השנאי
 - שטח חלונות האיוורור
 - תכנון דרכי האוויר – הפרדה בין אוויר נכנס/יוצא, תעלות ללא מכשולים, וכד')
 - טמפרטורת האוור החיצוני

נוסחאות בתחום אורור הטבעי



$$(\Delta V)^3 = 13.2 \frac{(Pv)^2 \times (R_1 + m^2 R_2)}{(A_1)^2 \times H}$$

$$(A_1) = \sqrt{13.2 \frac{(Pv)^2 \times (R_1 + m^2 R_2)}{(\Delta V)^3 \times H}}$$

מקרא לנוסחאות

- H - גובה מחושב בין אמצע מיכל השנאי לבין אמצע פתח האוורור העליון.
- h1 - גובה החדר
- P_v - סכום האיבודים של השנאי.
- ΔV - עליית טמפ' בתוך התחט"פ (15K).
- R_1 - מקדם התנגדות ותאוצה של האויר בפתח הכניסה.
- R_2 - מקדם התנגדות ותאוצה של האויר בפתח היציאה.
- A_1 - שטח של פתח אוורור תחתון.
- A_2 - שטח של פתח אוורור עליון.
- m - היחס בין שטח פתח אוורור תחתון (A_1) לשטח אוורור עליון (A_2).

$$m = A_1 / A_2$$

חיות והצורה של פתח האוורור התחתון זהה לצורה של פתח האוורור העליון: $R_1=R_2=5$. לצורך החישוב מומלץ שהיחס בין שטח פתח האוורור העליון לפתח האוורור התחתון הינו זהה לקיים כיום בתחט"פ (לפי מפרט 720) - $m = 0.86$.

עבור שנאים בעלי מבנה נורמלי מניחים שעליית הטמפרטורה בתחט"פ הינה 12K. חיות ובשנים האחרונות השנאים המוזמנים עבור תחט"פ הינם לטמפ' סביבה מקסימאלית של 55°C , ניתן לאפשר עליית טמפ' בתחט"פ של 15K.

קירור באמצעות מיזוג אוויר (AC)

חישוב הספק המזגן

- החימום נגרם מהפסדים בשנאים (נצילותם אמנם קרוב ל-99%, אך 1-5% הפסדים הפכים לאנרגית חום משמעותית מאוד)
- המלצה לחישוב הפסדים בשנאים:

- הספק שנאי $150kva \geq$ - 50w/kva (~5%)
- הספק שנאי בין 150 - 500 kva - 30w/kva (~3%)
- הספק שנאי בין 500 - 1000 kva - 25w/kva (~2,5%)
- הספק שנאי בין 1000 kva - 2500 - 20w/kva (~2%)

- הפסדי חום של שנאי $(w) = S * \eta * (1 - \eta) * 1000$

- $(BTU)P = 3,415 * (W)P$

- אפשר לחשב גם עצמת זרימת האוויר, בהתאם להפרש תמפרטורה דרוש. בגלל שהחישובים בקירור באמצעות מזגן מבוצעים על בסיס BTU, החישוב מבוסס על יחידות בריטיות ($^{\circ}F$).

קירור באמצעות מיזוג אוויר (AC) - המשך

דוגמה:

שנאי 1000 קו"א, מעומס – 90% עם נצילות $\eta = 98\%$

$$P = 1000 * 0.90 * (1 - 0.98) * 1000 = 18,000 \text{ W}$$

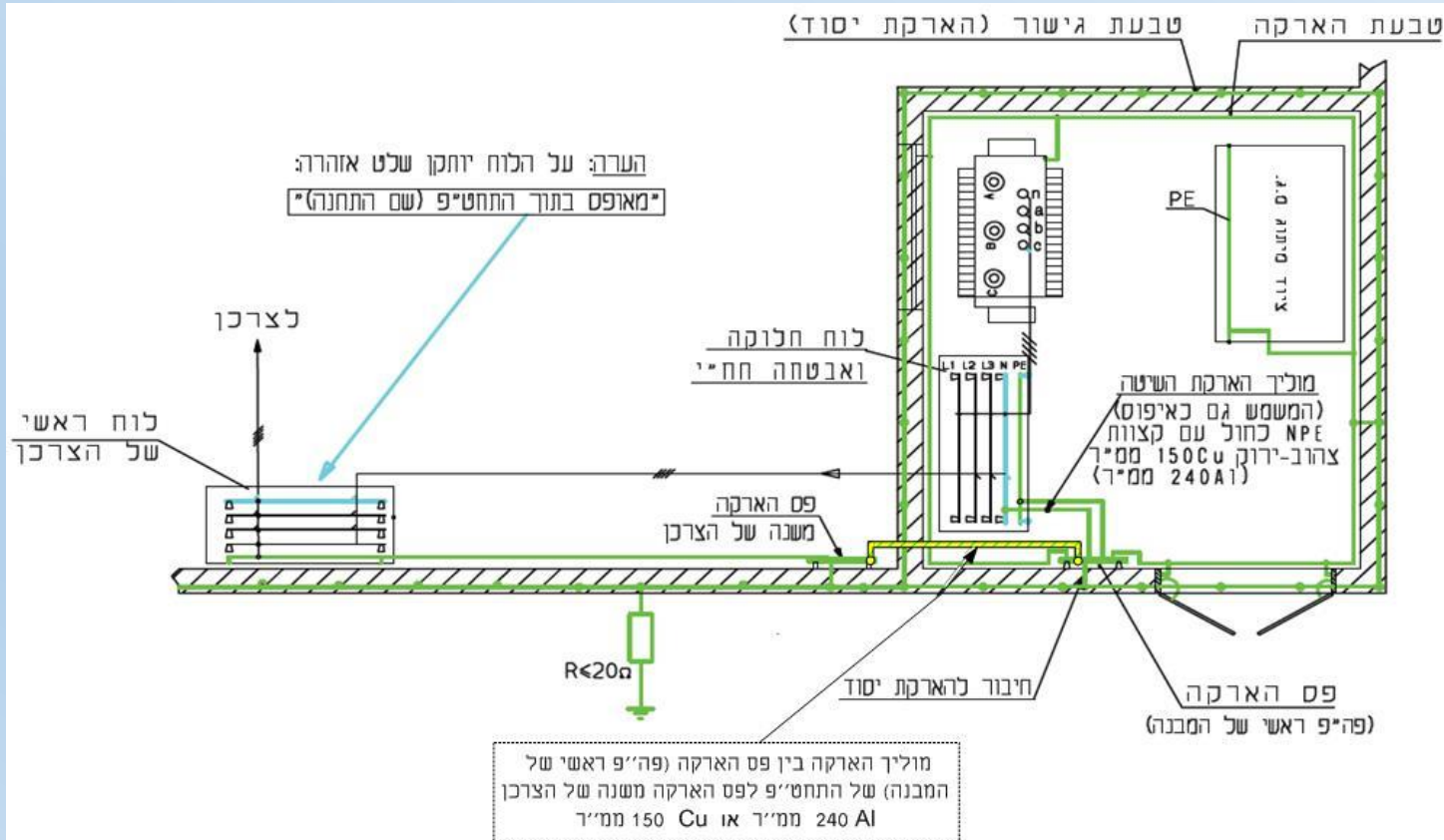
$$18,000 \text{ W} \times 3.415 = 61,470 \text{ BTU/h}$$

הארקת יסוד של תחנת טרנספורמציה

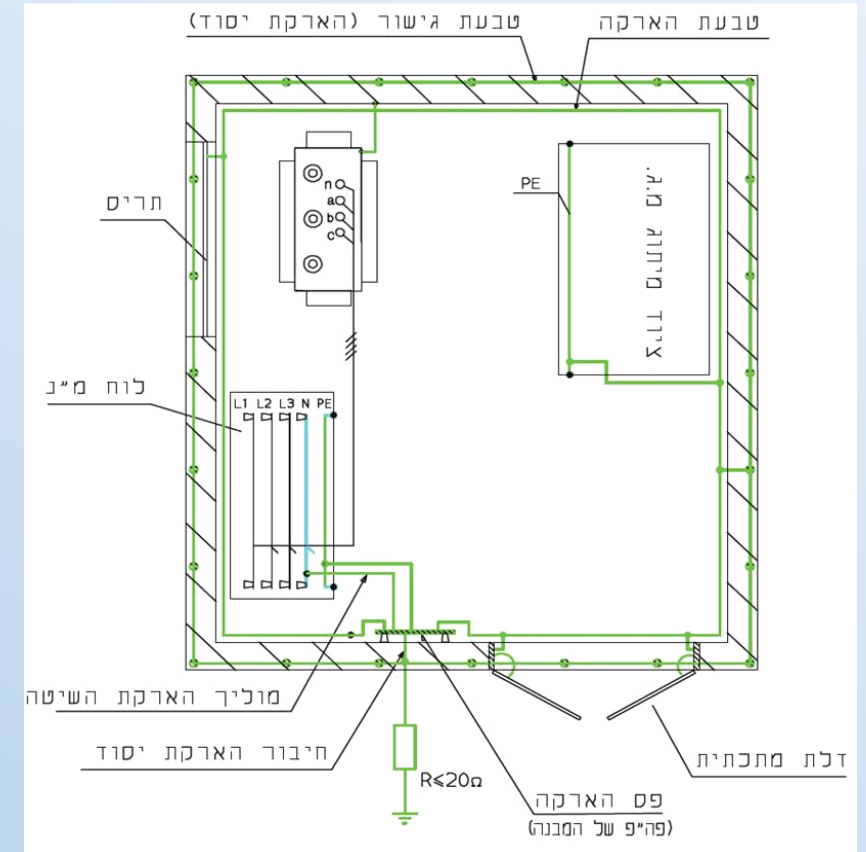
- הארקת היסוד של התחט"פ תבוצע בהתאם לתקנות 1271 - תקנות חשמל (הארקת יסוד) התשנ"א 1991.
- הארקת היסוד של התחט"פ שבמבנה, תשולב בהארקת היסוד של המבנה כולו או בקרבתו.
- ש להבטיח חיבור של פס ההארקה של התחט"פ להארקת יסוד בשני מקומות לפחות. החיבורים יהיו מעל הרצפה העליונה ויבוצעו באמצעות מוליכים מפס פלדה מגולוון 4x40 מ"מ מרותכים להארקת יסוד.
- לאחר בניית החדר תבוצע מדידת התנגדות הארקה למסה כללית של האדמה, לפי שיטת השיפוע. ערך ההתנגדות $\Omega > 20$
- התנגדות השקולה של הארקה, לאחר חיבור כל הלוחות שמוזנים מתחנת טרנספורמציה $\Omega > 2$
- **פס השוואת פוטנציאלים** : כאשר חדר ההשנאה משולב במבנה או נמצא בקרבתו (בתחום ההשפעה של הארקת היסוד של המבנה) יש לבצע הגנה באמצעות איפוס מסוג TN-S. האיפוס יבוצע ע"י חיבור פס/פסי האפסים במבנה אל פס השוואת פוטנציאלים (פה"פ) שחדר/י השנאה.
- ראה "[הנחיות להתקנת רשת חשמל עילית במתח גבוה, ה'תש"פ-2020](#)" סעיפים 27-29
- יש לבצע תאום עם חברת החשמל לגבי צורת ביצוע הארקת שיטה של השנאי (משותפת או נפרדת מהארקת הגנה).

הארקת יסוד של תחנת טרנספורמציה

הארקה משותפת



תחטי"פ בתוך מבנה המזינה לוח ראשי של המבנה



שנאי פנימי ולוח המ"מ הנמצא בתוך חדר התחטי"פ

הארקת יסוד של תחנת טרנספורמציה

-מושגים-

<p>אמצעי הגנה בפני חשמול במתקן חשמלי המאופיין ע"י חיבור מוליך ה- PEN של רשת החלוקה לפס השוואת הפוטנציאלים של מבנה בכניסה למבנה. לאחר הכניסה חל פיצול בתפקידים של מוליך ה- PEN והם מתבצעים ע"י שני מוליכים נפרדים: מוליך אפס (N) ומוליך הארקה (PE).</p>	<p>"איפוס TN-C-S" -</p>
<p>אמצעי הגנה בפני חשמול במתקן חשמלי המאופיין ע"י הפרדה מוחלטת בין המוליכים "N" ו- "PE" החל ממקור הזינה וכלה במכשירים.</p>	<p>"איפוס TN-S" -</p>
<p>מערכת הכוללת אלקטרודת הארקה יסוד, טבעת גישור, פס השוואת פוטנציאלים ומוליך הארקה המחבר את טבעת הגישור אל פס השוואת הפוטנציאלים.</p>	<p>"הארקת יסוד של המבנה" -</p>
<p>מוליך הנמצא במגע טוב עם המסה הכללית של האדמה במישרין או דרך בטון של יסוד המבנה, בין שהוא בודד ובין שהוא מורכב ממספר גופים המחוברים ביניהם.</p>	<p>"אלקטרודת הארקה" או "אלקטרודה" -</p>
<p>ארון חשמל המוזן משנאי או מרשת חלוקה במ"נ המשמש להזנת קווי חלוקה יוצאים או להזנת צרכנים. ארון אשר מכיל אבטחות לקווי יציאה משנאי (כ"ארון חלוקה ראשי").</p>	<p>"ארון חלוקה ואבטחה (אח"מ)", "תא חלוקה" או "פילר"</p>

הארקת יסוד של תחנת טרנספורמציה

-מושגים-

חיבור במתכוון למסה הכללית של האדמה.	"הארקה" -
- הארקת נקודת האפס של השנאי בתחמ"ש ישירות לאדמה.	"הארקה ישירה (קשיחה)"
- הארקה במתכוון של נקודת הכוכב של שנאי חלוקה או של מוליך PEN ברשת החלוקה.	"הארקת השיטה" - (הארקת האפס של השנאי)
אמצעי הגנה בפני חשמול במתקן חשמלי המאופיין ע"י חיבור מוליכי PE לאלקטרודת הארקה נפרדת מאלקטרודת הארקת השיטה.	"הארקה הגנה TT" -
מוליך המחובר לנקודת האפס של מקור הזינה ונוטל חלק בתמסורת אנרגיה חשמלית	"מוליך אפס N" -
מוליך המחבר אל מערכת הארקה: - נקודת האפס של השנאי - גוף מתכתי החייב בהארקה וכן מוליך המחבר בין החלקים השונים של מערכת הארקה.	"מוליך הארקה PE" -
מוליך המשמש בו-זמנית כמוליך PE וכמוליך אפס N.	"מוליך PEN" -
מוליך המחבר בין פה"פ ופס האפס של הלוח הראשי (מוליך האיפוס).	"מוליך NPE" -
פס שאליו מתחברים מוליכי הארקה ומוליכי החיבור. פס זה יכול לשמש גם כפס הארקה.	"פס השוואת פוטנציאלים" (פה"פ) -

שאלות?