מרץ 2015

**מנחם בר-צבי**

קורס ממוני אנרגיה

**מגדל קרח**

**חישובים לדוגמה**

**1. מגדל הקרח** משמש כמאגר אנרגיה קרה אשר מיוצר בשעות הלילה (שפל) בתעריף נמוך לקוט"ש (בקרוב: 0.3 ש"ח לקוט"ש בלילה לעומת 0.9 ש"ח לקוט"ש ביום).

 כמות הקרח המיוצרת (בעזרת מערך דחיסה וקירור על אמוניה או על גזי פריאון) בשעות הלילה נאגרת במגדל ומשמשת לקירור במשך כל שעות היום.

 השיטה קיימת ונפוצה בתעשיית המזון (ובעיקר: חלב ומוצריו: סלטים, ומזון מצונן).

 ישנה כוונה להעביר את השימוש בה לתעשיית ההקפאה (עד -40°C) של בשר, דגים, ירקות ופירות.

 העברת הקור ממגדל הקרח אל צרכני הקירור נעשית על ידי הזרמת אתילן גליקול או פרופילן גליקון ("אנטיפריז").

**2. רקע חישובי**

2.1 חום כמוס של קרח (מעבר מנוזל למוצק)

 80 קילוקלוריות לק"ג

2.2 חום סגולי של מים 1 קילוקלוריה לק"ג למעלה צלזיוס

2.3 חום סגולי של קרח 0.5 קילוקלוריה לק"ג למעלה צלזיוס

2.4 הנוסחה לחישוב קירור מים עד 0°C



  - הפרש טמפ' (0°C)

 c1 - חום סגולי (קילוקלוריות לק"ג למעלה צלזיוס)

 m - משקל (ק"ג)

 Q1 – כמות חום (קילוקלוריות)

2.5 הנוסחה לחישוב אנרגית הקפאה של מים לקח (חום כמוס)

Q2 = ml

 l- חום כמוס (קילוקלוריות לק"ג)

 m - משקל (ק"ג)

 Q2 – כמות חום (קילוקלוריות)

2.6 הנוסחה לחישוב קירור נוסף של הקרח (לטמפרטורה פחות מ-0°C)



 - הפרש טמפ' (0°C)

 c2 - חום סגולי (קילוקלוריות לק"ג למעלה צלזיוס)

 m - משקל (ק"ג)

 Q3 – כמות חום (קילוקלוריות)

2.7 סה"כ כמות החום שיש לסלק כדי להגיע לקרח ממים בטמפ' סביבה לקרח בטמפרטורה מתחת לאפס:



2.8 1 ק"ג מים בטמפרטורה של 20°C צריך להקפיא לקרח בטמפ' של -10° מהי כמות החום שי שלסלק?

 Q1 = 1 x 1 x (20-0)

קילוקלוריות Q1 = 20

 Q2 = 1 x 80

קילוקלוריות Q2 = 80

 Q3 = 1 x 0.5 (0-(-10))

קילוקלוריות Q3 = 5

5 + 80 + 20 = 

**קילו קלוריות 105 = **

**3. דוגמת חישוב לקירור מחסן לטמפ' של 0-1°C**

3.1 המחסן צריך סילוק של 2,000,000 קילוקלוריות בשעה בממוצע

 (2 מיליון קילוקלוריות בשעה) בשעות היום.

3.2 זמן הקירור בשעות הלילה הוא כ-10 שעות.

3.3 זמן הקירור בשעות היום הוא כ-14 שעות.

3.4 כמות הקרח אמורה להספיק לשעות היום והלילה כלומר ל-24 שעות.

3.5 סה"כ אנרגיה נדרשת ליממה (24 שעות)

 48,000,000 = 2,000,000 x 24

 48 מיליון קילוקלוריות

3.6 אנרגיה זאת (בהנחת יעילות 100%) מיוצרת במשך 10 שעות לילה.

3.7 על פי סעיף 2.8 לעיל: 1 ק"ג קרח נדרש לקירור של 105 קילוקלוריות.

3.8 כלומר נדרשים – 105 : 48,000,000 = 457,142.8 ק"ג קרח

3.9 נפח הקרח לפי צפיפות של 0.9 ק"ג לליטר

 יהיה 457,142.8:0.9 = 507,936.5 ליטר

 שהם כ-508 מ"ק

3.10 מידות כלליות פנימיות של מגדל קרח לנפח כזה

 קוטר: 5 מטר

 שטח עגול: 19.625 = 3.14x52/4

 נפח: 508 מ"ק

 גובה: 25.8 מטר = 508:19.625

3.11 שווה ערך קלורי לקילוואט שעה

 קוט"ש 1.162 = 1000 קילוקלוריות

 או

 קוט"ש 1 = 860 קילוקלוריות

3.12 כלומר אנרגיה של 48,000,000 קילוקלוריות

 יהיה שווי ערך ל- קוט"ש 55814 = 860 : 48,000,000 - במשך יממה אחת.

3.13 העלות של שימוש באנרגיה זאת במשך לילה תהיה

 16,744 ש"ח לכל היממה = 0.3 x 55,814

3.14 לעומת עלות ללא מגדל קרח שתחושב להלן:

 - 14 שעות יום לפי 0.9 ש"ח לקוט"ש

29,302.3 ש"ח = 0.9 ש"ח לקוט"ש x (860 שווה ערך לקוט"ש : 2,000,000 קילוקלוריות לשעה) x 14 שעות

 - 10 שעות לילה לפי 0.3 ש"ח לקוט"ש

 6,976.7 ש"ח = 0.3 x (2,000,000) x 10

 סה"כ עלות ליממה = 36,279 ש"ח = 6,976.7 + 29,302.3

 לעומת 16,744 ש"ח ליממה בשימוש במגדל קרח.

 רווח של: 19,535 ש"ח ליממה = 16,744–36,279

**4. דוגמת חישוב לשימוש במגדל קרח למיזוג אוויר**

4.1 למיזוג אוויר ניתן להשתמש גם במאגר של מים קרים אבל יתרון האגירה לטווח ארוך מקטינה את נפח האחסון של הקרח לעומת זה של המים. לדוגמה הספקת אנרגיה מ-1 ק"ג קרח (נניח ב-0°C) עד 20°C+ תהיה כ-100 קילוקליוריות. 1 ק"ג קרח נפחו 1.1 ליטר

 אותה אנרגיה באחסון מים קרים ב-1°C תדרוש נפח של **5 ליטר** = 20 : 100

 כלומר בצורה גסה אחסון קרח דורש כ-20% מנפח אחסון מים באותה טמפרטורה (קרוב ל-1°C)

4.2 נדרש קירור לבניין משרדים סה"כ הספק נדרש של 2000 כוחות סוס בממוצע לשעה.

4.3 משך הקירור שעות יום 14 שעות

 משך הקירור שעות לילה 10 שעות

4.4 חישוב בתעריף יום 0.9 ש"ח לקוט"ש

 חישוב בתעריף לילה 0.3 ש"ח לקוט"ש

4.5 שווה ערך אנרגטי:

 Kw 0.745 (קו"ט) = Hp 1 (כ"ס)

 = kw 1490 = 2000 כ"ס הספק ממוצע לשעה

4.6 סה"כ צריכת אנרגיה כוללת

 Kwh (קוט"ש) 35,760 = 24 x 1490

4.7 אנרגיה זאת תסופק ע"י מאגר קרח שיוצר במשך 10 שעות

 ע"פ 1 קוט"ש = 860 קילוקלוריות

 30,753,600 קילוקלוריות = 35760 קוט"ש

4.8 כמות קרח נדרשת (-10°C) לפי 105 קילוקליוריות לק"ג

 292,891.4 ק"ג = 105 : 30,753,600

 **293 ≈ 292.9 טון קרח** =

4.9 נפח הקרח הזה: 325.5 מ"ק = 0.9 : 293 (מידות תת-קרקעיות 3.25x10x10 מטר)

4.10 חשוב עלויות חשמל ללא מאגר קרח

 4.10.1 יום kwh 20,860 = 14 x 1490

 18,774 ש"ח = 0.9 x 20,860

 4.10.2 לילה kwh 14,900 = 10 x 1490

 4,470 ש"ח = 0.3 x 14,900

 סה"כ **23,244 ש"ח ליממה** = 4,470 + 18,774

4.11 חישוב עלויות עם מאגר קרח: **10,728 ש"ח ליממה** = 0.3 x 35,760 קוט"ש ליממה

4.12 הפרש נחסך: **12,516 ש"ח ליממה** = 10,728 – 23,244

מנחם בר-צבי

מהנדס כימאי

יועץ סביבה בטיחות ואנרגיה