

משרד התשתיות הלאומיות
אגף שימור אנרגיה

שימור אנרגיה

במערכות

מיזוג אוויר

מהדורה מעודכנת 2005

קובץ מקור : יהודה גזונדהייט, מהנדס יועץ
שכתוב ועריכה : ד"ר עופר אלון, א.ט. אפעל טכנולוגיות בע"מ

תוכן עניינים

5	מבוא	
8	מונחים בסיסיים במעגל הקירור ובתרמודינמיקה	
10	פרק 1 - העומס התרמי במבנה	
10	1.1 הגדרת המונח "עומס תרמי"	
10	1.2 הגדרת המונחים "חום מורגש" ו"חום כמוס"	
10	1.3 מרכיבי העומס התרמי	
15	1.4 מהו העומס התרמי הכולל?	
18	1.5 עומס תרמי במבנים שונים	
19	1.6 כיצד מושפע גודל מיתקן מיזוג האוויר מהעומסים ונוהגי הצריכה האנרגטית של המבנה?	
20	1.7 כדאיות כלכלית	
22	פרק 2 - מרכיבי מערכת מיזוג האוויר	
22	2.1 מעגל הקירור	
26	2.2 דוגמה לתנאי עבודה טיפוסיים במערכת מיזוג אוויר המופעלת על-ידי פריאון 22	
27	2.3 השפעת שינויים בלחצים ובטמפרטורות על החסכון באנרגיה	
28	2.4 נתוני צריכת אנרגיה בתנאי טמפרטורה שונים	
30	2.5 משאבת חום (HEAT PUMP)	
32	2.6 מרכיבי מערכת קירור בדחיסה	
36	פרק 3 - סוגי מערכות מיזוג אוויר	
36	3.1 יחידות מושלמות	
38	3.2 יחידות מפוצלות	
42	3.3 מערכות מרכזיות בהתפשטות ישירה	
44	3.4 מערכת מרכזית למים קרים	
47	פרק 4 - קווים מנחים לתכנון ולבחירה של מזגנים לתחום הביתי והמסחרי	
50	פרק 5 - חסכון אנרגיה במערכות מיזוג אוויר	
50	5.1 צריכת אנרגיה על-ידי משאבות ומפוחים	
50	5.2 איבודי אנרגיה במערכות מים ואוויר	
51	5.3 השימוש באנרגיה ביחידות ובמערכות השונות	
51	5.4 השפעת תחזוקה על השימוש באנרגיה	
55	5.5 בידוד	
56	פרק 6 - תוספת ציוד לחסכון באנרגיה	
56	6.1 מקדם כופל ההספק	
56	6.2 שימוש באוויר צח במקום באוויר חוזר	
57	6.3 ויסות הטמפרטורה של המים החמים ו/או הקרים	
57	6.4 ניצול חום שיורי	
58	6.5 שיפור נצילות במעגל הקירור	
62	פרק 7 - מעקב שוטף, מדידות ותוצאותיהן	
62	7.1 מיכשור ומדידות	
63	7.2 הסקת מסקנות מהמדידות	
65	פרק 8 - צינון אוויר	
65	8.1 המונח "צינון אוויר"	
65	8.2 עקרון פעולת מצנן	
65	8.3 מבנה המצנן	
66	8.4 מידת הקירור הניתן להשיג במצנן	
67	8.5 ההבדלים הבסיסיים בין מיתקני צינון ומיתקני קירור	
68	8.6 מתי כדאי להשתמש במצננים?	
70	נספח 1	
71	נספח 2	
72	נספח 3	

הקדמה

תחום קירור ומיזוג אוויר, אשר נתפס מזה עשרות בשנים כמסורתי ומקובע בסטנדרטים קיימים, הפך ברבות השנים לגורם דומיננטי ביותר בעלויות התפעול של מבנה ממוצע (כ-60% מעלויות ההוצאה על אנרגיה). מערך מיזוג האוויר הינו גורם מהותי המחייב התחשבות ושיקול דעת מתוך ראייה אסטרטגית ארוכת טווח.

בעידן, שבו אנו עדים לשבירת מיתוסים ולשינוי מהותי בתפיסה הכוללת של תחום האנרגיה, הפכה מערכת מיזוג האוויר במדינות המערביות, זה מכבר, למוצר בסיסי השווה לכל נפש. מאידך, אנו עדים לחסך הולך וגדל במשק האנרגיה העולמי, לעלויות ייצור גבוהות ולרצון אמיתי ומחויב המציאות לשמור על איכות הסביבה.

חברות מובילות הבינו את השינוי: לא עוד שם מותג, אלא חישובי עלות/תועלת המחייבים מעבר הדרגתי לטכנולוגיות מתקדמות, כאלו המשפרות את נצילות המערכות ומקטינות את עלויות התפעול ואת הבלאי המואץ. העובדה, שהליך התחיקה והגברת האכיפה בנושא קררים (גזים) ידידותיים לסביבה (HCFC) תופס תאוצה וקו ברור ברחבי העולם, רק מוסיף אלמנט נוסף ומהותי ביותר המחייב את החברות להתעדכן (כתחליף למשפחת קררי CFC) וליישם את השינויים המתבקשים (מבחינה מדעית ניאלץ להמתין כחמישים שנה כדי לדעת אם המעבר לקררים החלופיים מהווה פתרון למניעת הנזקים הסביבתיים ולשכבת האוזון).

מערכות מיזוג האוויר צפויות להיות חכמות ומתקדמות יותר מבעבר, כך גם מערכות האחזקה ושימור האנרגיה, ובזה כנראה תסתכם פריצת הדרך המיוחלת. הקדמת הטכנולוגיה מאפשרת הוזלת עלויות ומפשטת תהליכים. יש הטוענים, כי בפועל רמת הציוד יורדת, ומאידך יש הטוענים, כי הקטנת העלויות מתאפשרת מרמת התחכום והנצילות הגבוהה של המערכות.

בחוברת מידע זו יושם דגש על הרקע הכללי של המעגל התרמו-דינמי, מתוך מגמה להבהיר כי ניתן באמצעים פשוטים יחסית ליישם פתרונות חיסכון ושימור אנרגיה, הנצרכת במתקני קירור ומיזוג אוויר. וזאת, תוך שימת דגשים על הנושאים הבאים:

1. תכנון הבניין תוך התחשבות בהיבט האנרגטי.
2. תכנון ראשוני ובחירת ציוד בהתחשב במכלול תנאי התכנון הנדרשים ובמצע האנרגטי הנתון.

3. אפיוני ביצוע לשיפור מבנים קיימים.
4. שיפור מתקנים קיימים.
5. הגדרת נוהלי שימוש והקפדה על נוהלי צריכה חסכוניים.
6. תכנון ויישום אחזקה נאותה.
7. ניצול חום שיורי לשימוש חוזר, ועוד.

מערכות קירור ומיזוג אוויר מופעלות כיום באופן מבוקר ומדויק, לפי תנאי הביצוע הנדרשים. לצורך מיצוי התהליך, יש לתכנן את המתקן לנצילות אופטימאלית, במגמה להקטין את האנרגיה המושקעת לשם ייצור התפוקה הנדרשת. אין ספק, כי מיצוי שיטות עבודה חדשניות תוך שימת דגש על עמידה בתקנים המחייבים, ימנע נזקים עתידיים ויביא לשיפור הרווחיות הכוללת של כל הצדדים.

ד"ר עופר אלון

למרות ההתקדמות הטכנולוגית, הרעיונות התרמו-דינאמיים הבסיסיים לא השתנו, ורוב מערכות הקירור עדיין מבוססות על טכנולוגיית עבר משופרת. תחום הקירור ומיזוג האוויר כולל אלמנטים רבים ומגוונים, החל בפן האלקטרו-מכני ובאפיוני הביצוע התרמו-דינאמיים, וכלה במבנה הכימי-פיסיקלי של החומרים הפועלים בו, ובהם קררים (גזים), שמנים ואטמים. על כן חשוב, שכל הנגשים לתחום נרחב זה - החל ברמת המפעיל - ייטיבו להכיר את המבנה הכימי ואפיוני הביצוע של הגזים הפועלים בתהליך המחזורי של מעגל הקירור, בד בבד עם הכרת המערכת האלקטרו-מכאנית, ובכלל זה אפיוני הפיקוד והבקרה החשמלית ומערכת הלחצים (דחיסה ויניקה).

תעשיית הקירור פותחה במאה ה-19 על-ידי מהנדסים באנגליה ובארצות הברית. הם התבססו, בעיקר, על יחידות מדידה ועל נוסחאות קיימות, שפותחו בעיקר לצורך חישובי כוח הספק, כריית מחצבים, מכונות ומכונות לייצור קרח. יחידות המידה כללו, בין השאר, כוח סוס, פאונד, פוט, פאונד לאינטש מרובע, יחידות בריטיות למדידה תרמית (British Thermal Unit) וטמפרטורת פרנהייט.

הסיבה להתקדמות המשמעותית במאה הקודמת דווקא, הינה שהשימוש המוגבר בחומרי בידוד יעילים החל באופן נרחב ובכמות גדולה יחסית בתחילת המאה ה-19. הדבר אפשר הובלה יעילה למרחקים גדולים יחסית. ייצור קרח באופן מלאכותי בוצע באופן ניסיוני בשנת 1820. 14 שנים לאחר מכן פותחה טכנולוגיה מתאימה, שאפשרה הקמה מעשית של מפעלים לייצור קרח מלאכותי. מהנדס אמריקאי בשם יעקב פרקינס המציא מערכת מכשירים מכאנית, אשר היוותה בסיס למערכת הדחיסה המודרנית (בוכנתית). בשנת 1855 פותחה מערכת ספיגה ראשונה בידי מהנדס גרמני, כשהיא מושתתת על עקרונות הפעולה של מערכת הספיגה, שאותם גילה מיכאל פרדי בשנת 1824. כמו כן, המערכת הושתתה על החוק הפיסיקלי שהוצע בשנת 1848 בידי ג'ול - "החוק הראשון של התרמודינאמיקה", הידוע גם בשם "חוק שימור האנרגיה". על פי חוק זה, החום והפעולה הם, למעשה, צורות שונות של אנרגיה. בשנת 1890 הוחל בייצור קוביות קרח קטנות, ותעשיית הקרח עברה שיפור משמעותי.

מערכת הקירור הראשונה, וכנראה גם החשובה מכולן, פותחה בתחילת המאה העשרים בעבור ענף המזון, לצורכי אחסון ושימור מזון בטמפרטורה ממוצעת

של 4.4°C. הוכח כי טמפרטורה זו מאיטה באופן משמעותי צמיחת בקטריות ומגדילה את אורך חיי המדף של המזון. בשנת 1902 פיתח דוקטור קרייר (CARRIER), מחלוצי תחום מיזוג האוויר, מערכת דחיסת קרר (גז) שהיוותה בסיס לפיתוח ציוד הקירור ומיזוג האוויר הידוע כיום.

בשנת 1910 החל ייצור מקררים ביתיים המופעלים מכאנית, אשר היו מהפכה בכל הקשור באחסון ושימור מזון ביתי. באותה עת היו מתקני ספיגה תעשייתיים, אשר יועדו לייצור גושי קרח באמצעות קרר האמוניה. מערכות אלו היו מגושמות יחסית.

בשנת 1927 הוחל בייצורן של מערכות קירור לצורך טיפול באוויר למטרת נוחות. זוהי, למעשה, תחילת הדרך של ייצור מזגני האוויר המוכרים כיום. שנה אחר כך החלה חברת ג'נרל אלקטריק בייצור המוני של מדחסים הרמטיים. כעבור שנתיים נוספות יוצרו מערכות מיזוג האוויר הראשונות לרכב, כולל משאיות. תחום זה לא התפתח במיוחד עד ראשית שנות השבעים, כאשר נחקקו מספר אמנות בינלאומיות המכירות בחשיבות הנושא לנוחות הנהג והנוסעים, וכן בחשיבותו לתעשיית המזון, המשנעת את סחורתה ממקום למקום.

בשנות החמישים פותחה טכנולוגיה ייחודית לייבוש אוויר, הפועלת על בסיס גלגל מצופה בחומרים סופחי מים, סיליקה-ג'ל (Silica-gel). כידוע, בעת טיפול באוויר באמצעות מערכת מיזוג אוויר, נגרעת לחות ממנו. זה פועל יוצא מירידת הטמפרטורה מתחת לנקודת הטל. עובדה זו לא מנעה את המשך התפתחות תחום גריעת הלחות, מתוך הכרה בערך המוסף של הנושא כאמצעי מוביל.

מה קרה בתחום מראשית המאה העשרים?

בעצם, לא הרבה. אפיוני הביצוע של מערכת מיזוג אוויר מתאפשרים עקב מיצוי פעולת מערכת קירור בסיסית, המהווה חלק ממכלול אביזרים המותאמים לסוג הקרר המיועד לפעול בטמפרטורת עבודה גבוהה יחסית, בהתאם לתנאי תכנון המתבקשים בתחום מיזוג האוויר. כיום, ניתן למצוא מערכות מיזוג אוויר בכל תחום, החל משימוש ביתי מסחרי ותעשייתי וכלה בתהליכי בקרת לחות במפעלים לנוחות העובדים ולתהליכי הייצור, ועוד. ניתן לחלק את אפיוני הביצוע של מערכות קירור ומיזוג אוויר, לשלושה פלחי שוק עיקריים:

1. **שימוש ביתי - מתייחס לציוד בתפוקה ממוצעת של כ-6 טונה קירור (BTH/U 72,000), במצב קירור/חימום ו/או אוורור.** נמצא בשימוש בעיקר בבתי מגורים ועסקים קטנים, מאופיין ביחידות הפועלות בשיטת "משאבת חום" או קירור

בלבד בגיבוי גופי חימום חשמליים, התפשטות ישירה או מערכת מים סגורה (הטיפול באוויר מתבצע באמצעות: יחידות קצה מפוצלות, אינוורטרים, VRF, VRV, מערכות מיני מרכזיות, מתקנים משולבים, יחידות מתועלות או ללא תיעול ועוד).

2. שימוש מסחרי – מתייחס לציוד בתפוקה ממוצעת של כ-50 טון קירור

(BTU/H 600,000), במצב קירור/חימום ו/או אוורור. נמצא בשימוש בעיקר במבנים ציבוריים, חדרי מחשב וכו'. מאופיין ביחידות הפועלות בשיטת "משאבת חום" או קירור בלבד מסוג התפשטות ישירה ו/או מערכת סחרור מים (מקרר/ציילר). לרוב מדובר ביחידות מרכזיות, בעלות מספר יחידות קצה מסוג יחידות טיפול באוויר או נחשוני מים.

3. שימוש תעשייתי – מתייחס למאות ואלפי טונות קירור, במצב קירור/חימום

ו/או אוורור. נמצא בשימוש בעיקר במבנים ציבוריים, כגון: בתי חולים, חדרי מחשב, תעשיות טכסטיל, בתי דפוס וכו'. בשימוש תעשייתי לוקחים בחשבון שנדרשת שמירה קפדנית יותר על רמת הטמפרטורה והלחות היחסית (במסגרת הליך תעשייתי) ולעיתים נדרשים תנאי תכנון שאינם מתאימים לתנאי הנוחות של בני האדם. בהליך תעשייתי מושם דגש נרחב יותר על סינון האוויר עד לרמה מיקרונית. לדוגמה, בבתי דפוס שמירה על רמת טמפרטורה ולחות יחסית הנה קריטית, במטרה לשמור לאורך זמן על איכות הנייר והצבעים לצורך קבלת איכות הדפסה גבוהה, ולמניעת תקלות הכרוכות בהשבתת הליך ההדפסה.

במתקנים תעשייתיים, דרישות המוצר ו/או המכונה הם המכתיבים את תנאי התכנון הבסיסיים. בכלל זה רמת הלחות היחסית, רמת הטמפרטורה, רמת סינון האוויר, מספר החלפות האוויר, כמות אוויר חיצוני טרי (צח) ועוד. בתכנון מערכת תעשייתית מושם דגש על התהליך המתבצע ולא בהכרח על תנאי הנוחות לבני האדם. נלקחת בחשבון אפשרות להפעלת המערכת 24 שעות ביממה בתנאי טמפרטורה משתנים באופן קיצוני, ובכלל זה קיץ, חורף, יום, לילה, קור, חום.

מונחים בסיסיים במעגל הקירור ובתמודינאמיקה

הליך הקירור - הליך דינאמי, המיושם באופן מחזורי בתוך מעגל סגור

חום כמוס - תוספת חום לחומר, הגורמת לשינוי מצב הצבירה שלו

חום מוחשי - תוספת חום לחומר, הגורמת לעליית הטמפרטורה שלו

טון קירור טונה קירור - מייצג את עוצמת אנרגיית הקירור המיוצרת מ-2000 LB (909 ק"ג) קרח המתמוסס ב-24 שעות, כאשר החום הכמוס הנדרש להפשרתו הוא

$$12,000 \text{ Btu/h} = 288,000 \text{ Btu/h}$$

טמפרטורה סביבתית - מבטאת את עוצמת החום בסביבה מוגדרת

טמפרטורה קריטית - גורמת לשינוי מצב צבירה בחומר, ללא תלות בלחץ המופעל עליו

יחס הרוויה - משקל אדי המים באוויר ביחס למשקל האוויר היבש באותה הטמפרטורה

כוח - אנרגיה מושקעת בגוף נייח, הגורמת לתנועה או להצטברות של לחצים

לחות יחסית - היחס בין משקל אדי המים באוויר לבין משקל המים במצב 100% רווי, בהשוואה לטמפרטורת האוויר

לחץ - כוח ליחידת שטח

עבודה – כוח, המופעל לאורך ציר תנועה

עוצמה/הספק – זמן (תדר) שבו מבוצעת העבודה

צפיפות - מסת החומר ליחידת נפח

שינוע חום - מתבצע על-ידי קרינה טבעית, זרימה והולכה

אנטלפיה- מדידת כמות האנרגיה בחומר, בהתייחס לטמפרטורה וללחץ

מעגל הקירור - מבוסס על טכנולוגיית עבר משופרת, מושפע מתנאים אקלימיים ומרמת הלחות היחסית (פנים/חוץ)

ברז 4 דרכים (משאבת חום) - ברז (שסתום) חשמלי, המאפשר שינוי של כיוון זרימת הקרר במעבר מקירור לחימום, ולהיפך

הספק חשמלי נצרך (ואט) – $1 \text{ KW} = 1.34 \text{ HP}$

חום- אנרגיה המעלה את טמפרטורת החומר והגורמת לתנועת אטומים (באפס המוחלט - 273°C - פוסקת התנועה)

מדחס - מיועד לסחרר (דחיסה /יניקה) את הקרר במעגל הקירור

מסנן אלקטרוסטטי אקטיבי - מיועד לסינון מיקרוני של חלקיקי אבק ולכלוך

מפוח - מיועד להניע את האוויר במערכת, בא במגע עם מחליפי החום

סוללת מאייד (מצב קירור) – מחליף חום, בתוכו משתנה מצב הצבירה של הקרר מנוזל לגז ותוך כדי כך הוא סופח חום

סוללת מעבה (מצב קירור) – מחליף חום, בתוכו משתנה מצב הצבירה של הקרר מגז לנוזל, תוך כדי כך פולט חום

צינורית קפילרית - התקן מפחית לחץ, המשנה את מהירות זרימת הקרר שעובר דרכו

BTU/H - תפוקת קירור/חימום לשעת עבודה ($1 \text{ BTU/H} = 0.2931 \text{ Watts}$)

C.O.P – נותן את מקדם היעילות של מערכת מיזוג אוויר; מחושב לפי הספק נצרך / **W** תפוקה קירור או חימום נמדד ב - **Watt**

Cubic Feet per Minute (CFM) - יחידת מדידה לספיקת אוויר ברגל לדקה
 $(\text{CFM} * 1.7 = \text{M}^3/\text{h})$

E.E.R – נתון המבטא את נצילות המערכת (תפוקה ביחס להספק נצרך); מחושב לפי **BTU/H / W**

SEER – (Seasonal Energy Efficiency Ratio) – מדד, המייצג את מקדם היעילות העונתית של מזגן בקירור ביחס לתנאי טמפרטורות סביבה שונות ובעומסי חום חלקיים (על פי רוב מקדם היעילות העונתית גבוה יותר במזגנים בעלי תפוקה משתנה).

Feet Per Minute (FPM) – ספיקת אוויר ברגל (32.8 ס"מ) לדקה
 $(\text{FPM} * 0.0051 = \text{M/s})$

M³/h - מהירות זרימת אוויר במטר מעוקב לשעה ($\text{M}^3/\text{h} * 0.5886 = \text{CFM}$)

Watt - יחידת מדידה אנרגטית $1 \text{ Btu/h} = 0.55 \text{ Kcal/kg}$

פרק 1 – העומס התרמי במבנה

1.1 הגדרת המונח "עומס תרמי"

(עומס קירור או עומס חימום)

עומס תרמי הוא קצב חדירת האנרגיה למבנה ממוזג, או פליטתה ממבנה מחומם (מוסק). מדידת העומס נעשית בקילו-קלוריות לשעה או לגבי קירור ב"טונה-קירור" (שווה ערך ל-3,000 קילו-קלוריות לשעה). תפוקת מתקן מיזוג האוויר נקבעת בהתאם לעומס האופטימאלי (לעיתים, עומס מירבי).

1.2 הגדרת המונחים "חום מורגש" ו"חום כמוס"

1.2.1 חום מורגש – הוא כמות החום הנדרשת להעלאת הטמפרטורה שבה מצוי חומר מסוים ללא שינוי מצב הצבירה שלו.

1.2.2 חום כמוס – כמות החום הנדרשת להפיכת חומר ממצב צבירה אחד לאחר, ללא שינוי בטמפרטורה. למשל, הפיכת מים רותחים ב- 100°C לקיטור באותה טמפרטורה נקראת חום כמוס של רתיחה. הפיכת קרח ב- 0°C למים באותה טמפרטורה, נקראת חום כמוס של התכה. במיזוג אוויר מחלקים את עומס הקירור לחום מורגש ולחום כמוס. החום המורגש הוא כמות החום, שיש להוציא מהאוויר כדי להוריד את הטמפרטורה לגובה הדרוש. החום הכמוס הוא כמות החום שיש להוציא מן האוויר כדי להוריד את הלחות על-ידי עיבוי חלק מאדי המים שבאוויר.

1.3 מרכיבי העומס התרמי

העומס התרמי מורכב מהסעיפים הבאים:

- א. חדירת חום או פליטתו על-ידי הולכה דרך מעטה הבניין: קירות, חלונות, דלתות, גגות ורצפות
- ב. קרינת השמש דרך החלונות
- ג. חדירת חום או פליטתו על-ידי אוורור
- ד. פליטת חום מבני אדם המצויים בבנין
- ה. פליטת חום על-ידי ציוד חשמלי
- ו. פליטת חום ממקורות אחרים

עומס הקירור כולל את כל הסעיפים הנ"ל ואילו עומס החימום כולל סעיפים א' ו-ג' בלבד ואת הנותרים יש להחסיר, שכן הם מקטינים אותו.

1.3.1 חזירת חום על-ידי הולכה דרך מעטה בנין:

כמות החום החודרת דרך כל קטע ממעטה בנין ניתנת לחישוב לפי

$$Q = U A \Delta T$$

כאשר Q היא כמות החום בקילו-קלוריות לשעה.

U מקדם מעבר החום בקילו-קלוריות לשעה, למטר מרובע,

למעלה אחת צלסיוס.

A שטח מעבר החום במטרים רבועים.

ΔT הפרש הטמפרטורות בין שני צדי הקטע במעלות צלסיוס.

מקדם מעבר החום U

מקדם מעבר החום (U), משתנה בהתאם לחומר הבניה של אותו

קטע:

קילו קלוריות לשעה למ"ר ל-° צלסיוס	סוג הקיר
17	קיר בלוקים בעובי של 20 ס"מ עם טיח מבפנים ומבחוץ
0.99	קיר בלוקים "איטונג" בעובי של 20 ס"מ עם טיח מבפנים ומבחוץ
4.5	חלון רגיל
2.7	חלון בעל שמשות זכוכית כפולה
3.0	תקרת בטון, בעובי של 13 ס"מ, עם חול ומדה (ציפוי בטון) למעלה וטיח מלמטה
0.84	תקרת בטון, בעובי של 13 ס"מ, עם בידוד פוליאורטן מוקצף 3 ס"מ עם חול ומדה מלמעלה וטיח מלמטה
1.97	תקרת צלעות בעובי של 20 ס"מ, מילוי בלוקים של בטון, עם חול מדה מלמעלה וטיח מלמטה

הפרשי טמפרטורה ΔT

היות והפרשי טמפרטורה הם גודל משתנה, התלוי בתנאי מזג האוויר, בשעה, בשינויים בין יום ולילה ובעוצמת הקרינה, אין אפשרות להתבסס רק על הטמפרטורות של האוויר בחוץ ובפנים.

משתמשים לכן בטבלאות של ערך אקווילנטי ΔT_{eq} המביאות בחשבון טמפרטורה חיצונית, טמפרטורה פנימית, השעה ביום, תאריך, קו רוחב, משקל סגולי והרכב מעטה המבנה וכיוונו.

בטבלה הבאה מוצגות מספר דוגמאות של ΔT_{eq} נתון: (א) חודש אוגוסט. (ב) קו רוחב 30° . (ג) טמפרטורת חוץ משתנה $25^\circ C$ בלילה עד $35^\circ C$ ביום. (ד) טמפרטורת פנים $24^\circ C$. (ה) קירות משני צידיהם בעובי 20 ס"מ, מטויחים. (ו) צלעות בעובי של 20 ס"מ מבפנים, מדה בחוץ, מסויד.

שעה 18.00		שעה 15.00		שעה 9.00		כיוון הקיר
איטונג	בלוקים של בטון	איטונג	בלוקים של בטון	איטונג	בלוקים של בטון	
11.39	11.67	13.92	13.47	02.50	02.27	דרום
10.06	10.00	09.44	08.89	01.66	01.66	צפון
10.61	10.61	10.06	09.78	11.81	10.88	מזרח
20.40	19.83	14.90	13.67	02.12	02.28	מערב
19.55		17.6		2.52		יג שטוח

1.3.2 קליטת חום דרך חלונות זכוכית

כ-85% מחום קרינת השמש נקלט על-ידי חלונות זכוכית וחודר לתוך המבנה. סוגי זכוכית מיוחדים וציפויים עשויים להגדיל את אחוז החום המוחזר. על-ידי כך אמנם מקטינים את אחוז החדירה הישירה, אך עם זאת כמות חום מסוימת נקלטת על-ידי הזכוכית עצמה והיא פולטת חלק ממנה פנימה.

כמות חום הקרינה, החודרת דרך החלונות, תלויה בעוצמת הקרינה, בזווית הקרינה (הכוונה לזווית שבה פוגעת קרן האור בזכוכית שהיא גודל המשתנה לפי שעה ביום והתאריך).

בטבלה הבאה מוצגות מספר דוגמאות לגבי כמויות החום החודרות דרך חלונות רגילים. הנתונים הם בקילו-קלוריות למ"ר לשעה, בחודש אוגוסט, בקו הרוחב 30° .

כיוון	שעה — 9.00	15.00	18.00
דרום	62	62	4.6
צפון	30	30	14.0
מערב	30	343	153.0
מזרח	343	30	4.6

הצללה

הצללה פרושה התקן, המונע קרינה ישירה לתוך המבנה. סוגי ההצללה הידועים הם צאלון חיצוני או פנימי, סככת בד חיצונית, זכוכית מיוחדת ועוד. לפי הטבלה הבאה נראה שההצללה היעילה ביותר היא על-ידי צאלון חיצוני או על-ידי סככות בד חיצוניות למיניהן ואילו יעילותה של הצללה הפנימית קטנה יותר, כי היא מחזירה רק חלק קטן מהקרינה ואילו כמות החום הנותרת נקלטת על-ידי האוויר שבמבנה ומתווספת לעומס התרמי.

להלן מספר דוגמאות של סוגי הצללה ויעילותם.

סוגי ההצללה	אחוזי חום הקרינה החודרת פנימה
צילון פנימי בצבע בהיר	56%
צילון פנימי בצבע כהה	75%
צילון חיצוני בצבע בהיר	15%
סככת בד חיצונית בהירה	20%
סככת בד חיצונית כהה	25%
זכוכית הסופגת 56%-70% מהקרינה	62%

1.3.3 חזירת חום על-ידי איורור

כדי לקרר מ"ק אחד של אוויר חם החודר למבנה, דרושות 0.286 קק"ל (של קירור) לכל מעלה צלסיוס. אולם, אם תכולת המים של האוויר החיצוני גבוהה מהאוויר הממוזג, יהיה צורך לספק קירור נוסף לייבוש האוויר. דבר זה מושג על-ידי עיבוי המים המיותרים על-ידי סוללת הקירור. בתנאי הקיץ שבאזור שפלת החוף, יש לספק למטרה זו בערך כמות כפולה של קירור מזו הנדרשת לקירור בלבד (חום מורגש).

אוויר צח

מזגני אוויר במערכות מרכזיות מוזנים, בדרך כלל, ב"אוויר מסוחרר" (אוויר שמקורו בשטח הממוזג) בתוספת אוויר צח חיצוני. יש להקפיד על כך שכמות האוויר הצח תהיה מזערית, אבל בשום אופן לא פחותה מהכמות הנדרשת מטעמי בריאות ונוחות למאכלסי המבנה.

כמות זו תלויה בפעילות המתרחשת בבנין הממוזג: בספריות, בחדרי שינה וכ"ו ניתן להסתפק ב-17 מ"ק/שעה לאדם, בחדרי-אוכל ציבוריים ב-30 מ"ק/שעה ובחדר-התעמלות - כ-35 מ"ק. היות ואספקת האוויר הצח היא מאולצת, הרי שפתחים, סדקים, חריצים סביב החלונות ושטחים בלתי אטומים, יביאו לדליפות וכתוצאה מכך ייגרם עומס נוסף על מערכת מיזוג האוויר. בבנין אטום כהלכה מתחלף האוויר, בדרך כלל, אחת לשעה כתוצאה מדליפות ואילו בבנין שבו אין אטימה טובה (לדוגמה, אם מותקנים חלונות הזזה) מספר ההחלפות עשוי להגיע ל-3 ומעלה.

1.3.4 פליטת חום על-ידי בני אדם

בני אדם פולטים חום לסביבה, כמו כן הם מגדילים את הלחות על-ידי הזעה. שני גורמים אלה מתווספים לעומס הקירור. במצב מנוחה, אדם ממוצע פולט כ-52 קילו-קלוריות חום כמוס, הנפלט בצורת זיעה אשר מתאדה לתוך האוויר, ובסה"כ 87 קילו-קלוריות לשעה. עבודה קלה ביותר מגדילה שיעור זה ל-130 קק"ל לשעה ואילו אדם העוסק בעבודה מאומצת פולט כ-150 קק"ל/שעה חום מורגש ועוד 150 קק"ל/שעה חום כמוס.

1.3.5 פליטת חום על-ידי ציוד אלקטרו-מכני ותאורה

האנרגיה החשמלית המסופקת לתאורה ולציוד אלקטרו-מכני הופכת לאנרגיה תרמית. קילוואט שווה ל-860 קילו-קלוריות לשעה.

1.3.6 פליטת חום ממקורות אחרים

לעומת הקירור מתווסף החום הנפלט מצינורות חמים העוברים בשטח הממוזג (גם כשהם מתחת לטיח) ממזון חם, מתנורי בישול וכד'.

1.4 מהו העומס התרמי הכולל?

העומס התרמי הוא סה"כ יציאות החום מכל המקורות האנרגטיים. מטרת חישוב העומס התרמי היא לקבוע את תפוקת מערכת מיזוג האוויר ולהעריך את צריכתה השנתית. הצעד הראשון בקביעת העומס התרמי היא קביעת תנאי האוויר הפנימיים שברצוננו להשיג וכן מה הם תנאי האוויר החיצוני אשר ישמשו כבסיס לתכנון המערכת.

1.4.1 תנאי פנים

תנאי נוחות נגרמים על-ידי צירוף של טמפרטורה, לחות יחסית ותנועת האוויר. בדרך כלל, משמשת לחות יחסית של 55%-60% כבסיס לחישוב העומס, כאשר הטמפרטורה למיזוג אוויר בקיץ היא כ- 24°C - 26°C ובחורף 19°C - 20°C .

יש להבחין הבחנה ברורה בין מיזוג האוויר, המיועד לנוחות אנשים הנוכחים בבנין למשך זמן קצר, כמו בית-קפה, מסעדה וכו' לבין מערכת, שמטרתה לשרת דרישות בני אדם המצויים במבנה זמן ממושך, כמו משרד, בית מלון, או מפעל. בכל מקרה יקבעו התנאים לפי הדרישות המיוחדות של הנושא.

במיזוג אוויר תעשייתי מוכתבים תנאי האוויר לרוב על-ידי הדרישות הספציפיות של תהליכי הייצור – למשל, לחות גבוהה במפעלי טקסטיל – ואין תנאים אלו תמיד נוחים לבני אדם.

1.4.2 תנאים חיצוניים

מערכת מיזוג אוויר או הסקה מתוכננת, בדרך כלל, על בסיס תנאי מזג אוויר חיצוניים ממוצעים וקצת מעבר לזה. לעומת זאת, בתנאים קיצוניים של חום ולחות מזה וקור מזה, אין משיגים את תנאי הפנים הנדרשים, כי לשם השגת תנאים אלה דרושה השקעה נוספת שאינה מצדיקה את עצמה.

(האיגוד הארצי של מהנדסי מיזוג אוויר פירסם לוח, הקובע את התנאים המרביים ותנאי התכנון המומלצים בכל אזורי הארץ, תוך ציון מספר הימים שבהם הטמפרטורה החיצונית עלולה לחרוג מהמומלץ).

1.4.3 דוגמה לחישוב עומס תרמי בתי מלון

בטבלה הבאה מוצגים נתונים לחישוב של עומס קרור לקומה אחת של בית מלון טיפוס, באזור שפלת החוף, בתנאי מזג אוויר של אוגוסט בשעה 3 אחה"צ.

הדוגמה מבוססת על הערכים הבאים:

א. תנאי טמפרטורה ולחות:

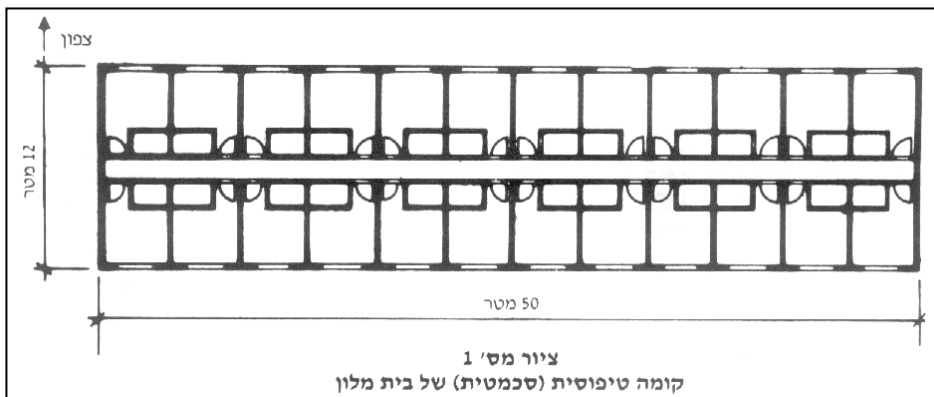
תנאים חיצוניים: תרמומטר יבש 35°C תרמומטר לח 25.5°C

תנאים פנימיים: תרמומטר יבש 24°C לחות יחסית 55%.

המבנה: קירות בלוקים בטון בעובי 20 ס"מ עם טיח מבפנים ומבחוץ, גג צלעות בעובי 20 ס"מ עם מדה. חלונות בקירות הצפוניים והדרומיים בלבד.

עומס פנימי – 20 איש, 3500 ואט לתאורה.

(גובה 2.80 מטר)



א. חישוב עומס קרור (בקילוקלוריות/שעה) (החישוב מבוסס על נתונים ב-1.3)			
חילוף אויר אחד לשעה חלונות אטומים מהווים 20% משטח הקירות		3 חילופי אויר לשעה חלונות ב-50% משטח הקירות	מרכיב העומס התרמי
חלונות כפולים עם הצללה בידוד קירות וגג	ללא הצללה וללא בידוד קירות וגג	חלונות לא אטומים ללא הצללה וללא בידוד קירות וגג	
1046	1656	1059	קיר צפוני
1543	2570	1606	קיר דרומי
334	559	559	קיר מזרחי
495	782	782	קיר מערבי
1663	2772	6930	חלונות (צפון+דרום)
5081	8339	10936	סה"כ
			קרינה דרך חלונות
126	840	2100	חלונות צפוניים
260	1736	4340	חלונות דרומיים
386	2576	6440	סה"כ
			קרור וייבוש אויר צח
5350	5350	16050	חום מורגש
7750	7750	23250	חום כמוס
13100	13100	39300	סה"כ
			עומס פנימי
2000	2000	2000	20 איש
3000	3000	3000	חשמל (3.5 קוט"ש)
5000	5000	5000	סה"כ
ק"ל 23567=7.8 TR	ק"ל 29005=9.7 TR	ק"ל 61676=20.5 TR	סה"כ קומת ביניים
8870	20700	20700	תוספת גג
ק"ל 32437=10.8 TR	ק"ל 49715=16.6 TR	ק"ל 82376=27.4 TR	סה"כ קומה עליונה
ב. חישוב עומס חימום			
קילוקלוריות/שעה		מרכיבי עומס החימום	
4,900		קירות	
8,800		חלונות	
20,400		אויר חיצוני – 3 חילופים לשעה	
34,100		סה"כ	
3,000		הפחתת עומס חימום פנימי	
31,100		עומס חימום כולל בקומת ביניים	
-----		אפשרויות של חסכון	
3,240		הקטנת שטח החלונות מ-140 מ"ר ל-50 מ"ר	
13,600		אויר חיצוני חילוף אחד לשעה	
2,850		בידוד קירות	
1,400		חלונות כפולים	
21,090			
10,010		עומס החימום לקומת ביניים לאחר פעולות חסכון שונות	
		עומס חימום לקומת גג	
47,640		ללא פעולות חסכון	
17,170		לאחר פעולות חסכון כולל בידוד הגג	

עיון בטבלאות של חישוב העומסים, מורה על כך שהגורם כבד המשקל ביותר הוא מספר חילופי האוויר וכי על-ידי צימצומו למינימום ההכרחי, ניתן לחסוך עשרות אחוזים מהצריכה האנרגטית ומכאן גם העומס המותקן. אם נוסיף לכך פעולות שניתן לבצע לפני הקמת המבנה, הרי שהחסכון עשוי להגיע עד ל-60% ומעלה וכתוצאה מכך יהיה צימצום ניכר בעומס המותקן.

1.5 עומס תרמי במבנים שונים

ברור, שדוגמאות החישוב בסעיף הקודם מתאימות רק למספר מצומצם של מבנים כמו, למשל, בתי חולים, בנייני משרדים ועוד סוגי בניינים שבהם העומס הפנימי אינו גדול ועיקר העומס נובע מחדירת חום מבחוץ. המצב שונה לגבי מבנים שבהם הצפיפות גבוהה כמו בתי קולנוע, אולמות חתונה, אולמות הרצאות, מסעדות וכו'. אם נחשב, לדוגמה, את העומס התרמי של בית קולנוע במבנה נפרד החשוף לקרינת השמש, בהצגה יומית, עם תפוסה של 1000 איש, נגיע לתוצאות הבאות:

קילו-קלוריות /שעה	
42,500	חדירת חום דרך מעטה הבנין -
90,000	חום הנפלט מ-1000 איש -
	חום מורגש באוויר החיצוני -
32,000	(10 מ"ק לאיש בשעה) -
<u>68,000</u>	חום כמוס באוויר החיצוני -
232,500	סה"כ עומס הקרור -

בדוגמה הזו, הרכיב היחיד שניתן להקטין הוא חדירת חום דרך המעטה המהווה פחות מ-20% מהעומס התרמי – וזה כשהמבנה חשוף לשמש ובהצגה יומית. ברור, שבמבנה כזה אין לצפות לחסכון מרשים מהשקעה בבידוד, אלא אם צפויה תפוסה נמוכה. אולם יש מקום לבדוק את הכדאיות של בידוד הגג.

אין אפשרות לנתח בצורה כללית עומסי קרור וחימום של אולמות תעשייתיים, שכן המגוון הוא רחב ביותר הן מבחינת העומסים הפנימיים והן מבחינת תנאי האוויר הדרושים. רצוי תמיד לבדוק את הכדאיות של פעולות חסכון במספר נושאים, כגון אטימת חלונות, ויסות כמויות של אוויר צחי, בידוד גגות והצללת חלונות, ניצול חום שיורי, שימוש במצננים.

1.6 כיצד מושפע גודל מיתקן מיזוג האוויר מהעומסים ונוהגי הצריכה האנרגטית של המבנה?

1.6.1 קביעת הספק המערכת

החישוב הראשוני של הספק המערכת נעשה כפי שהוצג בטבלאות והוא הבסיס לקביעת גודל המתקן. אולם גודל המתקן המעשי ייקבע הן על-ידי פעולות לצימצום הצריכה והן על-ידי החלטות לגבי איכות הצריכה.

- א. שימוש בחלונות כפולים.
- ב. הקטנת שטח החלונות.
- ג. הצללה חיצונית של החלונות.
- ד. הקטנת דליפות אוויר (אטימת חלונות ודלתות).
- ה. בידוד קירות וגגות.
- ו. קביעת תנאי פנים פחות נוחים.

ברור, שעל גודל המיתקן ניתן להשפיע רק לפני שהותקן. בין אם הסתיימה בניית המבנה ובין אם הוא בשלבים שונים של הבנייה או לפני תחילתה. המצב האידיאלי הוא כאשר באים השיקולים האנרגטיים לידי ביטוי לפני הקמת המבנה, שכן אז ההשקעה מזערית והחיסכון יתבטא הן בגודל המתקן והן בצריכה האנרגטית שלו. שונה המצב כאשר הסתיימה הבנייה, כי אז ההשקעה לצורך צימצום הצריכה האנרגטית תהיה גבוהה יותר, אולם עדיין ניתן יהיה להשפיע על גודל המיתקן. אולם כאשר המערכת מותקנת בשלמותה, יש אפשרות להשפיע אך ורק על הקטנת הצריכה האנרגטית. אבל גם חסכון זה עשוי להצדיק את עצמו לאחר בחינה מדוקדקת של ההשקעה הכרוכה בכך, כפי שראינו בדוגמאות שהוצגו. צריכת האנרגיה של קומת-ביניים של בית המלון, שבדוגמה, נעה בין 8 ל-20 טונות קרור ולקומת גג בין 11 ל-27 טונות קרור. הכל בהתאם לרמת הבידוד האטימות, הצללת שטח החלונות וכו'.

מהם הגורמים המשפיעים על צריכת האנרגיה השנתית?

מתקני הקירור והחימום אינם פועלים בעומס מלא כל ימות השנה בגלל שינויים בתנאי הטמפרטורה, הלחות והקרינה של הסביבה, הפעילות ותפוסת המבנה. למשל, בבית מלון בשפלת החוף עונת הקירור היא בערך 5500 שעות, אך רוב הזמן המתקנים פועלים באופן חלקי והערכה סבירה

היא שתפוקת הקירור השנתית הנדרשת שווה לכ-1500 שעות פעולה בעומס מלא. כמו כן, סביר להעריך את תפוקת החימום השנתית כשווה ל-1000 שעות פעולה בעומס מלא.

האנרגיה, הנדרשת לספק כמות מסוימת של קירור, משתנה בהתאם לתכנון המערכות ומצב התחזוקה (ראה פרקים 2 ו-4). מיתקן טוב צורך בערך 1.2 קו"ט לטונה קירור.

אם להתבסס על המספר הזה, יוצא שצריכת האנרגיה לעונת הקירור לקומת-ביניים בבית המלון הנ"ל תהיה בתחום של 14,000 ל-37,000 קו"ט"ש.

אם החימום נעשה על-ידי שריפת דלק נוזלי, צריכת הדלק לעונה תהיה בין 1,500 ל-4,500 ליטר (ראה טבלאות בדף 6 - שימו לב למספור הרלוונטי).

בכל ההערכות הנ"ל לא הבאנו בחשבון את הגורמים האנושיים: התחזוקה ונוהלי הצריכה. אם אין הקפדה על אלה, הרי שהצריכה עלולה לעלות עוד בעשרות אחוזים.

- א. תוספת של מעלה אחת בחימום או בקירור עלולה להגדיל את הצריכה בכ-8%.
- ב. ויסות טמפרטורות על-ידי פתיחת חלונות ודלתות, כלומר הגדלת מספר החלפות האוויר החיצוני במידה משמעותית.
- ג. הפעלה מיותרת של המערכת כשאין בה צורך.
- ד. סדקים ודליפות.
- ה. תאורה מיותרת גורמת לבזבוז הן באנרגיית התאורה והן באנרגיה הנדרשת להרחקת חום הנפלט ממנה.
- ו. תחזוקה לקויה גורמת לבזבוז (על כך להלן).

1.7 כדאיות כלכלית

הכדאיות הכלכלית של השקעות לחסכון באנרגיה תלויה, במידה רבה, בשלב הביצוע של הפרויקט.

אם מדובר במבנה חדש לפני הקמתו, הרי בראש ובראשונה ניתן לצמצם את צריכת האנרגיה שלו על-ידי השקעות קטנות יחסית, וכמו כן להקטין את

גודל המערכת בהתאם לכך. שונה המצב כאשר הסתיימה הקמת המבנה ועדיין לא הותקנה בו המערכת, כי במצב זה ההשקעות נעשות כבדות יותר וכדאיותן יורדת, אבל עדיין יש אפשרות לחסוך בגודל המתקן.

לעומת זאת, באם התקנת המערכת הסתיימה הרי שההשקעות לחסכון יבחנו אך ורק לאור החיסכון האנרגטי שיושג. לכן עדיף, כמובן, שהנושא האנרגטי ייבחן לפני הקמת המבנה, כבר בשלבי התכנון המוקדמים.

פרק 2 – מרכיבי מערכת מיזוג האוויר

2.1 מעגל הקירור

המונח "מעגל קירור" מגדיר פעולה של מערכת תרמו-דינאמית, הפועלת באופן מחזורי במעגל סגור. הליך הקירור מסתכם בשינוי מצב הצבירה של הקרר מגז לנוזל לצורך פליטת החום הנאגר בהליך האיזוד, ולהיפך ממצב צבירה נוזלי לגז לצורך גריעת החום מהמדיה (אוויר/נוזל) מהמטופלת. אם כן, תהליך הקירור הינו מחזורי ומסתכם בספיחת חום ושינועו ופליטתו אל מחוץ לתהליך.

הקרר במעגל הקירור – סיכום התהליך התרמו-דינמי

תהליך הקירור דינאמי ומשתנה באופן תדיר ביחס למכלול נתונים בסיסיים, כגון שינויי טמפרטורה, עומס חום חיצוני ופנימי ועוד. התוצאה הסופית המתבקשת היא הנושא העיקרי בתחום זה, ולכן ניתן לסמן בתהליך הקירור שתי נקודות עיקריות:

1. **גריעת/ספיחה חום ולחות מהחלל המטופל** - החום נקלט ביחידת המאייד במהלך שינוי מצב צבירת הקרר מנוזל לגז. בפעולת הקירור איננו מעלימים את מקור החום, אלא מוציאים אותו מהחלל המטופל וממנו מחוץ לאזור המטופל (חיצונית למבנה, אטמוספירה).

2. **שחרור החום הפנימי (הנגרע) מסוללת העיבוי אל מחוצה לה** - במהלך שינוי מצב צבירה מגז חם לנוזל בלחץ גבוה, משתחרר החום לאטמוספירה בעזרת מפוח-מעבה, המבצע החלפת אוויר חיצוני קבועה דרך סוללת העיבוי החיצונית.

ביחידת העיבוי הננו מאפשרים לחום, הנאגר בסוללת המאייד (הפנימית), להשתחרר "החוצה" - אל מחוץ למערכת הקירור. פעולה זו נעשית עד להשגת הטמפרטורה האופטימאלית להמשך תהליך יעיל של גז הקרר.

קרר במתקני קירור ומיזוג אוויר

הקרר נועד לקלוט חום ולאפשר את שינועו אל מחוץ למערכת. הניסיון מראה, כי בעקבות השימוש בקררים ממשפחת CFC ושחרורם לחלל האוויר, מצטברים אדי גז

בחלל האטמוספירה. הללו מסבים נזק אקולוגי, עד כדי שינוי תנאי מזג האוויר השוררים על כדור הארץ. תופעה זו מדרבנת גופים רבים לפתח קררים חדשים, בעלי תכונות כימיות משופרות, העשויים מחומרים מזיקים פחות ויותר ידידותיים לסביבה. בין החומרים הללו: תרכובות HCFC (מימן-כלור-פלואור-פחמן).

למרות הדרישה הכלל-עולמית להקטין את השימוש בקררים ישנים (CFC), הללו עדיין נמצאים בשימוש נרחב יחסית והדבר מחייב ביתר שאת להחליפם, במגמה למנוע נזקים נוספים. הפגיעה נגרמת בעיקר לשכבת האוזון, המשמשת כמטריית הגנה מפני קרינת שמש ישירה על כדור הארץ. כתוצאה מדלדול השכבה נגרם תהליך התחממות הדרגתי של כדור הארץ.

התיאוריה, המיושמת כיום, מגדירה גז "מעולה" למערכות קירור ככזה המכיל מולקולות "פשוטות", במסגרת מסה נמוכה יחסית, בנקודת רתיחה נורמאלית. תיאוריה זו מתייחסת לקררים הבאים:

HFC's – 134a – 152a – 125 – 32 – 143a – 23

HCFC's – 22 – 123 -124 – 142b

תקנות רלוונטיות לשימוש בקרר

א. אין לשחרר חומר מפוקח לסביבה ואין להוסיפו למערכת, אלא לאחר בדיקה שהיא אינה דולפת.

ב. אין לאחסן חומר מפוקח באופן שעלול לגרום לשחרורו לסביבה.

ג. החל מ-1/1/2006 השירות לצידוד קירור ומיזוג אוויר יינתן רק על-ידי **נותן שירות מוסמך**.

ד. החל מ-1/1/2005 יש לפנות מיכלים עם חומר מפוקח למוכר או אל מרכז לחומרים מפוקחים. המוכר יאחסנו עד למחזורו או לפינויו למרכז.

ה. החל מ-1/1/2005 חל איסור על יבוא, מכירה ושימוש של **חומרים מפוקחים בחלק א'** לייצור או שימוש תעשייתי.

ו. החל מ-1/1/2006 יחול איסור על יבוא, מכירה ושימוש של **חומרים מפוקחים בחלק ב'** למוצרי הקצפה וגזי דחף בארוסולים.

ז. החל מ-1/1/2010 יחול איסור על יבוא ומכירה של חומרים מפוקחים מחלק א' לקירור תעשייתי ומחסרי בכל הגדלים, ולמיזוג אוויר בתפוקה מעל 18 KW (כ-5 טונות קירור).

- ח. החל מ-1/1/2005 חל איסור על יבוא, ייצור ומכירה של ציוד קירור ומיזוג אוויר (למעט חלקי חילוף לציוד קיים), לתפוקה שעד 18 KW, המכילים או פועלים עם חומר מפוקח בחלק ב'.
- ט. החל מ-1/1/2010 הרחבת התקנה הנ"ל מעל 18 KW.
- י. החל מ-1/1/2005 חל איסור על יבוא מוצרים המכילים חומר מפוקח בחלק א'.
- יא. החל מ-1/1/2006 הורחבו הנ"ל גם לגבי חומרים מפוקחים בחלק ב'.
- יב. חובת הגדרת סוג וכמות חומר הקירור בציוד קירור ומיזוג אוויר.
- יג. חובה על נותן שירות מוסמך לקירור/מיזוג לציין (על גב תווית שירות על הציוד וביומן שירות) סוג וכמות חומר מפוקח שהוסיף לציוד, בציון תאריך ופרטיו האישיים.
- יד. חובה על נותן שירות מוסמך לנהל רישום לגבי בדיקה, תיקון, דליפה או הוספה של חומר מפוקח למערכת, שבה מעל 150 ק"ג חומר מפוקח.
- טו. חובת תיקון ציוד דולף חומר מפוקח, תוך 2 ימי עבודה ממועד איתור התקלה.
- טז. חובה לאפשר ביקורות בעסקים של נותן שירות לשם בדיקת הרישומים.

מונחים לגבי הטיפול בחומרי קירור

RECOVERY - הוצאת הקרר מהמערכת ואחסונו במיכל חיצוני. אין הכרח לבצע בדיקות או תהליכים כלשהם בקרר.

RECYCLE - ניקוי הקרר על מנת להשתמש בו שוב, על-ידי הפרדת השמן והעברתו דרך מסננים ו/או מייבשים לשם הפחתת לחות, חומציות וחלקיקי מזהמים אחרים.

RECLAIM - הקניית תכונות נדרשות לקרר על-ידי תהליכים שונים כמו זיקוק. התהליך דורש אנליזה כימית של הקרר. בדרך כלל הכוונה לתהליך המבוצע במפעל כימיקלים אשר מייצר קררים או מטפל בהם באופן כימי.

מערכת מכשור ובקרה

מכשור ובקרה היו קשורים בעבר בעיקר למדידה ובקרה של לחץ, טמפרטורה, גובה, מהירות וכדומה, באמצעות התקני קצה מגוונים. עולם הבקרה עבר כבר כמה שלבי התפתחות מן הבקרים המכאניים עד לדיגיטליים, ומרכז הכובד עבר לתחומי מערכות המידע, המיחשוב ורשתות הבקרה הממוחשבות, הקוויות והאלחוטיות, האוטומציה המפעלית ואף לניהול של כלל נכסי הארגון. היכולת לבצע אינטגרציה של התחומים הללו, בתכנון וביישום, הפכה לסימן היכר של המקצוע ובכלל זה תחום קירור ומיזוג האוויר.

מערכת הבקרה החדשנית נשלטת על פי רוב בידי מחשב פי.סי/תוכנה סטנדרטית, ויתרונה הבולט ביישום מגוון רחב של אופציות תפקודיות. מלבד העובדה שהיא משמשת כבקר, היא ניתנת לשימוש שם כשרת אינטרנט (Web Server). ניתן לגלוש אליה כמו לכל אתר אינטרנט, ובכך לשלוט מכל מקום על התפעול. כאשר יש שני מזגנים בחדר שרתי מחשב שאינו מאויש, למשל, נודעת חשיבות מרובה לקבלת סטטוס המזגן. במיוחד יש חשיבות לכך שניתן לקבל אותו בכל מקום בארגון דרך רשת המחשבים הפנימית.

היבטים ומאפייני אחזקה במתקני מיזוג אוויר מרכזי

מיצוי אפיוני הביצוע של מתקן מיזוג אוויר מותנה בתכנון מהימן של הציוד ביחס לאפיוני הביצוע הנדרשים. הוויסות הראשוני של המתקן חשוב ביותר לתפעול היעיל לאורך זמן, ולהקטנת עלויות תפעול והשבתת שבר.

מיתקן מיזוג אוויר מרכזי מורכב ממספר סוגים של תת-מערכות, הדורש מיומנות רבה בתחומים הבאים: חשמל; פיקוד ובקרה אלקטרונית ומכאנית; תרמודינאמיקה; מכאניקה/מכונות; הידראוליקה/מערכות מים, משאבות; מערכות ניקוז מים; מסגרות/ריתוך/הלחמה ועוד.

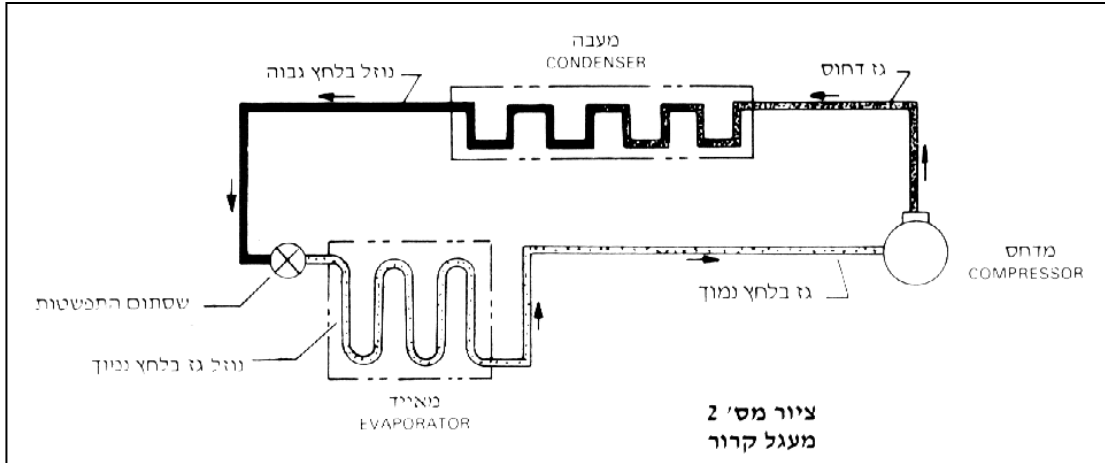
בכל מעגל קירור יש ארבעה מרכיבים:

- א. המדחס.
- ב. המעבה.
- ג. שסתום ההתפשטות.
- ד. המאייד, שבו מתבצע תהליך הקירור.

כחומר קירור משמש, בדרך כלל, פריאון 22 או קרר חליפי R410/134A המצוי בחלקו כגז ובחלקו כנוזל.

מחזור הקירור נעשה כדלקמן: חומר הקירור במצב נוזלי ובלחץ נמוך קולט במאייד חום מגורם חימוני (אוויר או מים) המתקרר כתוצאה מכך, והנוזל נהפך כולו לגז בלחץ ובטמפרטורה נמוכים. הגז מגיע למדחס, עובר תהליך דחיסה והתחממות ומגיע למעבה כגז תחת לחץ גבוה ובטמפרטורה גבוהה. במעבה, הגז מתקרר עד שמגיע לטמפרטורת העיבוי, ונהפך לנוזל. הנוזל עובר דרך שסתום/בקר ההתפשטות, לחצו יורד ובמידה מסוימת מתקרר וכך מגיע למאייד להשלמת המחזור.

הקירור של הסביבה נעשה על-ידי האוויר או המים שהתקררו כתוצאה מפליטת חום למאייד, בהתאם לסוג המערכת (פיזור ישיר של אוויר קר או באמצעות מים קרים כמו למשל, מפוח נחשון).



2.2 דוגמה לתנאי עבודה טיפוסיים במערכת מיזוג אוויר המופעלת על-ידי פריאון 22

בדוגמה שלפנינו, המעבה מקורר על-ידי אוויר חיצוני בטמפרטורה של 35°C ותפקיד המערכת לקרר אוויר עד לטמפרטורה של 10°C . כדי שתהליך הקרור יתקיים, חייבת להיות זרימת חום מהמעבה לאוויר החיצוני ומהאוויר הממוזג למאייד. דבר זה אפשרי, כמובן, רק במידה ויש מפל חום (T) בין היחידות המתאימות.

אם בדוגמה שלפנינו המעבה מתוכנן לעבודה ב- ΔT של 10°C והמאייד ב-T של 5°C , תהיה טמפרטורת העיבוי 45°C וטמפרטורת האידוד 5°C . כדי להגיע לנתונים אלה, חייבים לדחוס את הגז עד ללחץ של 16 אטמוספרות ולהחזיק לחץ של 4.7 אטמוספרות במאייד (ראה עקומה מס' 1). האנרגיה המושקעת בפעולה זו הופכת בחלקה לאנרגיה תרמית, דבר המתבטא בעליית הטמפרטורה של הגז (מ- 5°C ל- 45°C).

2.3 השפעת שינויים בלחצים ובטמפרטורות על החיסכון באנרגיה

מהדוגמה בסעיף 2.2 ניתן להסיק, שבמידה ונוריד את הטמפרטורה והלחץ במעבה וכמו-כן נעלה את הטמפרטורה ואת הלחץ במאייד תקטן הצריכה האנרגטית, כי תוטל פחות עבודה על המדחס. אבל הדבר יהיה כרוך בהשקעות נוספות ועל המתכנן יהיה להגיע לתוכנית הכדאית ביותר מבחינה כלכלית.

2.3.1 קביעת ה- ΔT

הפרש (ΔT) בין טמפרטורת העיבוי וטמפרטורת האוויר או המים המקררים את המעבה. כדי להשיג את האפקט הזה יש להתקין מעבה גדול יותר ו/או להגדיל את מחזור המים או האוויר המקררים את המעבה. דבר זה כרוך בהשקעות גדולות יותר בציוד. כמו כן הקטנת ה- ΔT במאייד תגרום לאיבוד בטמפרטורה ובלחץ גבוהים יותר ותקטין את הצריכה האנרגטית, אך גם זה כרוך בהשקעות נוספות בציוד.

2.3.2 העלאת טמפרטורת האוויר הממוזג

בדוגמה לפני כן קבענו, שיש לקרר את האוויר הממוזג עד 10°C . זאת כאשר הטמפרטורה הממוצעת במבנה המקורר לא צריכה להיות מתחת ל- 24°C .

מטרת קירור האוויר לטמפרטורה נמוכה היא לאפשר ספיגת החום החודר למבנה ואת זאת אפשר להשיג גם באוויר פחות קר, אך בכמויות יותר גדולות. השימוש באוויר פחות קר יגרום להעלאת טמפרטורת האיוד ולהקטנת צריכת האנרגיה במחזור הקירור. אך, כמובן, שפירוש הדבר צריכה אנרגטית נוספת למאוררים והשקעה נוספת במפוחים ותעלות ויחידות פיזור אוויר יותר גדולים.

2.3.3 בחירת חומר הקירור למעבה

אם משתמשים בחומר יותר קר לקירור המעבה, יורדים הלחץ וטמפרטורת העיבוי וצריכת האנרגיה. למעשה, קירור המעבה ניתן לביצוע על-ידי שלושה חומרים שונים – אוויר חיצוני, מים מתוקים (בדרך כלל מסוחררים דרך מגדל הקירור) ומי ים.

השימוש הנרחב ביותר במיתקנים גדולים הוא במים המסוחרים דרך מגדל קירור. טמפרטורת מי הקירור במקרה זה קרובה לטמפרטורה של התרמומטר הלח, שהיא נמוכה מזו של אוויר הסביבה.

בניית מערכת כזו כרוכה בהתקנת מגדל קירור, משאבות ומפוחים והיא צורכת אנרגיה להפעלת החלקים הנעים, אך בכל זאת היא יותר חסכונית מבחינה אנרגטית מקירור המים על-ידי אוויר. לעומת זאת, במזגנים קטנים, כמו מזגני חלון, משתמשים באוויר. מערכת, שאינה בשימוש נרחב אך מאד חסכונית מבחינה אנרגטית, היא מערכת קירור באמצעות מי ים. מערכת זו כרוכה בהשקעה גדולה יותר בגלל המערכת לשאיבת מים מהים והחזרתם, ונוספת בעיית ההגנה מפני קורוזיה (מערכת כזו נמצאת במספר בתי מלון בתל-אביב).

2.4 נתוני צריכת אנרגיה בתנאי טמפרטורה שונים

הטבלה להלן לקוחה מהמדריך של האיגוד האמריקאי למהנדסי מיזוג אוויר.

השפעת טמפרטורות איוד ועיבוי על צריכת האנרגיה לטון קרור ע"י גז פראון 22				
צריכת אנרגיה בכ"ס לטמפרטורות עיבוי שונות				טמפרטורת איוד
48.8 c	37.7 c	26.6 c	15.5 c	
2.24	1.77	1.37	1.03	-28.9°c
1.74	1.34	1.01	0.71	-17.7°c
1.32	0.98	0.69	0.44	-6.6°c
0.97	0.67	0.42	0.20	-14.4°c

הערה: הנתונים בטבלה זו הם נתוני חישוב. במציאות קיימים איבודים שונים, המגדילים את צריכת האנרגיה, כמו, למשל, מפלי לחץ, הנובעים מעצם זרימת הגז דרך המעבה, המאייד והצנרת, יעילות המנוע והמחדס וכו'.

הטבלה מורה בברור, עד כמה טמפרטורות העיבוי והאיוד משפיעות על כמות האנרגיה הנדרשת להפקת כמות מסוימת של קירור. הדוגמאות הקיצוניות שבטבלה הן:

עיבוי 15.5°C איוד 4.4 כ"ס לטון קירור 0.2.

עיבוי 48.8°C איוד 28.9 כ"ס לטון קירור 2.24.

מובן, שכאשר מדובר במיזוג אוויר, רוב התנאים המצויינים בטבלה אינם מציאותיים. מערכת רגילה של מיזוג אוויר פועלת בסביבות $4-5^{\circ}\text{C}$ באיוד ובסביבות 45°C בעיבוי. כלומר, בערך 1 כ"ס לטונה קירור.

להלן מספרים בתחומים מעשיים של מיזוג אוויר. המספרים מתייחסים ליחידות צינון מים (למיזוג אוויר) ומופיעים בקטלוג של חברת TRANE. מטבלה זו בולטת העובדה שבהפרשי טמפרטורות קטנים יחסית, הצריכה האנרגטית עולה מ-0.81 קו"ט ל-1.1 קו"ט לטונה קירור – תוספת של 35%.

טמפרטורה של עיבוי 46			טמפרטורה של עיבוי 40.5			טמפרטורת של מים מצוננים
קו"ט לטון קירור	קו"ט	טון קירור	קו"ט לטון קירור	קו"ט	טון קירור	
1.1	14.9	13.5	0.965	14.1	14.6	4.4 c
1.03	15.5	15.0	0.885	14.5	16.3	7.2 c
0.95	16.0	16.7	0.812	14.7	18.1	10.0 c

גז הקירור

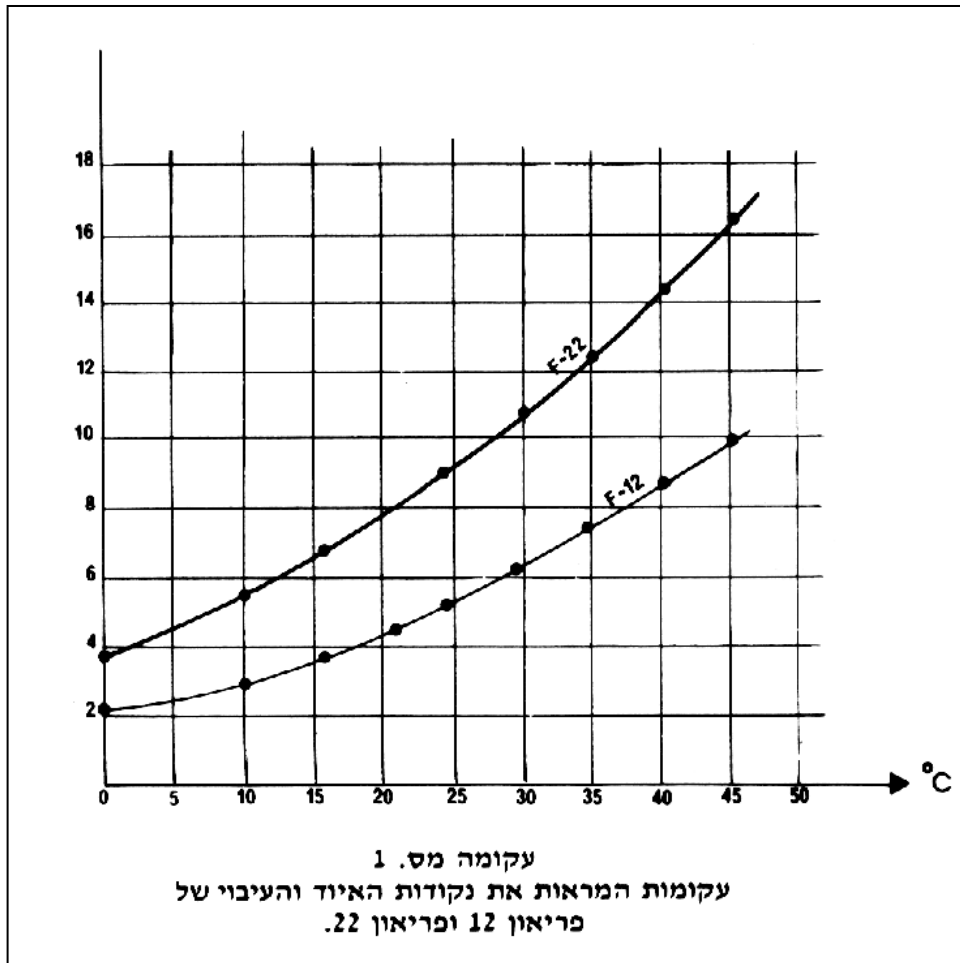
במשך עשרות בשנים הושקעה עבודה רבה בפיתוח גזי הקירור היעילים ביותר לשימוש הספציפי ולטמפרטורות שבהן הם אמורים לפעול. המדחסים והמנועים שלהם מתוכננים לפעול עם גז מסוים ובדרך-כלל לא ניתן להחליף את הגז במערכת ספציפית. הגזים המקובלים ביותר במדחסים בוכנתיים למיזוג אוויר הם F-12 (פריאון 12) ו-F-22 (פריאון 22).

את בחירת הגז במיזוג אוויר קובעים שיקולי בטיחות ויעילות. אסור שהגז יהיה רעיל או בעל ריח שיפריע לאנשים במקרה של דליפה לתוך האיזור הממוזג. אסור שהגז יתלקח או שהוא עלול לגרום להתפוצצות. יש לבחור את הגז, שהאנרגיה הנדרשת לדחיסתו בתחומי הטמפרטורה הנדרשים, תהיה מינימאלית.

ההבדלים המעשיים העיקריים בין F-12 ו-F-22 הם:

- באותן הטמפרטורות של עיבוי, F-22 זקוק ללחצים גבוהים במידה ניכרת מ-F-12 (ראה עקומות ציור מס. 3) והמדחסים ל-F-22 חייבים להיות בעלי חוזק מתאים ללחצים גבוהים וכך גם המעברים.
- מאחר וב-F-22 המדחס יונק גז דחוס יותר, נפח הגז קטן יותר ולכן לתפוקת קירור מסוימת מדחס ל-F-22 קטן יותר ממדחס ל-F-12 ועל אף שהוא חייב להיות עמיד ללחץ יותר גבוה, מחירו הכולל נמוך יותר.

באשר לשימוש באנרגיה לטונה קירור, ההפרשים בין שני הגזים קטנים ביותר.



2.5 משאבת חום (HEAT PUMP)

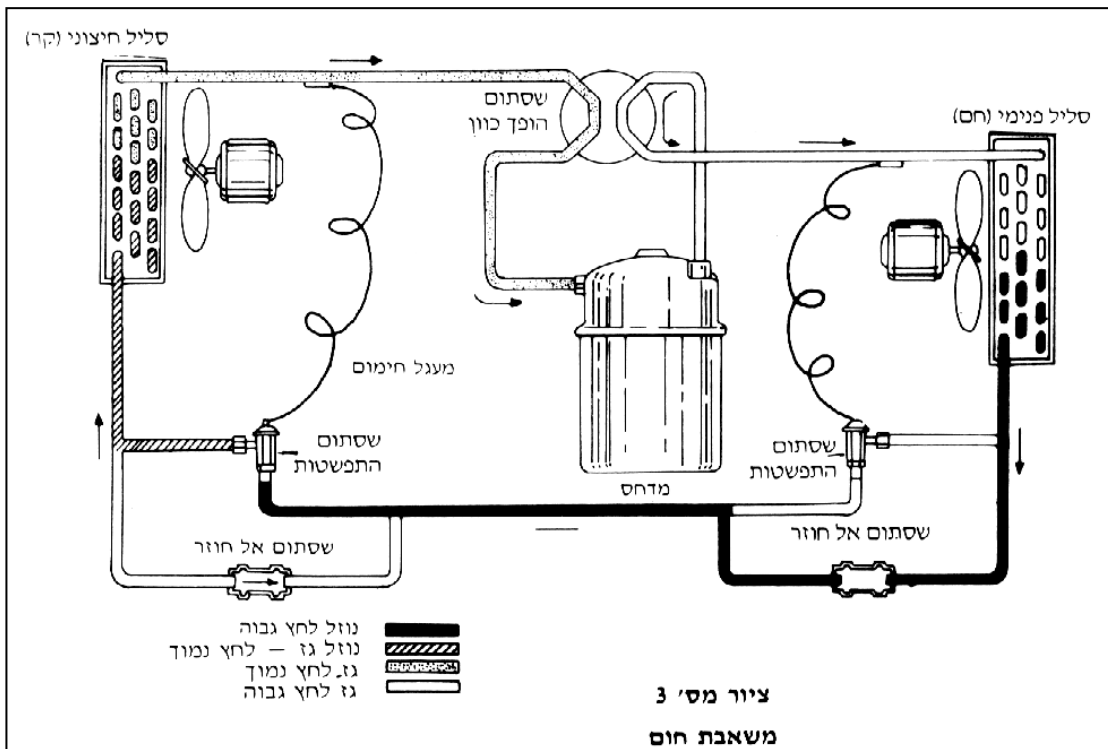
חום העיבוי במערכות הקירור ומיזוג האוויר אובד, בדרך כלל, בין אם על-ידי מי קירור באמצעות מגדל הקירור או על-ידי פליטת אוויר חם לאטמוספירה, אולם ניתן להשתמש במערכת קירור ומיזוג אוויר כמקור לאספקת חום אשר נקרא "משאבת חום".

גם משאבת חום כוללת אותם ארבעת מרכיבי מעגל הקירור, דהיינו מדחס, מעבה, שסתום התפשטות ומאייד.

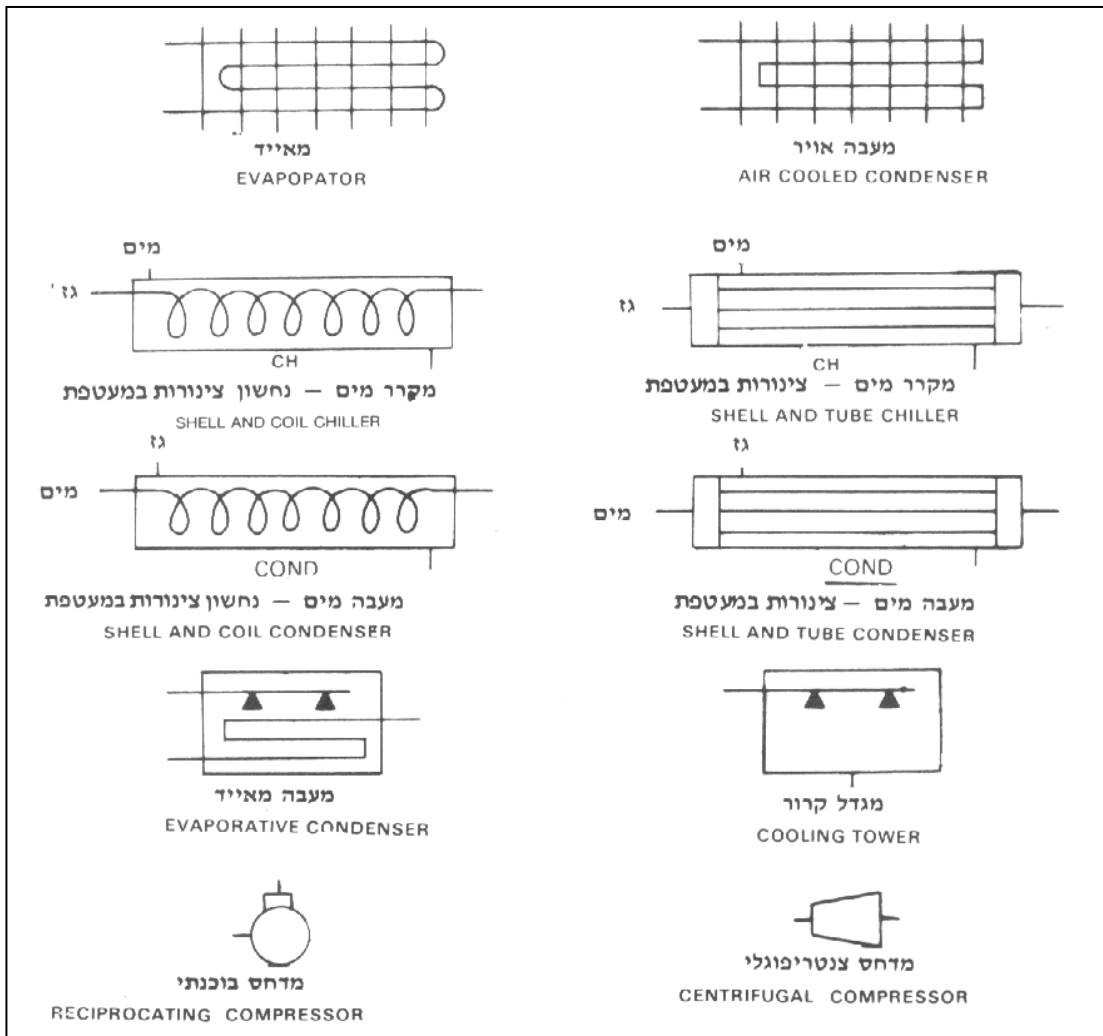
ניתן להפוך מערכת מיזוג אוויר למשאבת חום. המאייד הופך למעבה והמעבה למאייד. דבר זה נעשה על-ידי שסתום מיוחד אליו מחוברים קווי היניקה והדחיסה של המדחס וקווי הכניסה של המעבה והיציאה של המאייד.

כשדרוש חימום (בחורף) השסתום הופך את החיבורים ומחבר את צד הדחיסה ליציאה מהמאייד ואילו את יציאת המעבה ליניקת המדחס. מערכת כזו יעילה יותר מבחינה אנרגטית מאשר שיטות חימום אחרות. כך, למשל, ניתן להפיק על-ידי תנור חימום חשמלי מכל קילוואט 860 קילו-קלוריות ואילו משאבת חום עשויה להפיק בכמה מאות אחוזים יותר.

היחס בין כמות החום המופקת לערך הקלורי האקוויולנטי (המקביל) לקילוואט חשמל (860 ק"ל) נקרא מקדם הביצוע או C.O.P. במשאבות חום רגילות (מזגנים עם חימום) הוא מגיע לערך של 2.5 (כלומר הפקה של 22000 קילו-קלוריות מקילוואט אחד) אולם יש משאבות חום שהיחס בהן אף גבוה יותר. חסרון משאבת החום הוא, שבטמפרטורות מתחת ל-0°C קופאים המים המתעבים על נחשון העיבוי והמערכת מפסיקה לפעול. קיימים, כמובן, סידורים להבטחת המערכת על-ידי חימום חשמלי או הפיכת המעגל, אבל אלה מסבכים את המערכת.



2.6 מרכיבי מערכת קירור בדחיסה



2.6.1 מאייד בהתפשטות ישירה DIRECT EXPANSION

מאיידים מסוג זה מיועדים לקרור ישיר של האוויר. הם בנויים מנחשון נחושת ועל הצינורות נלחצות צלעות אלומיניום במרחק קטן ביניהן, כ-2 מ"מ. תפקיד הצלעות להגדיל את שטח המתכת הקרה הבאה במגע עם האוויר על מנת לאפשר מעבר חום מכסימלי. האוויר המתקרר מוזרם בין הצלעות על-ידי מפוח.

2.6.2 מאיידים לקרור מים

מאיידים כאלה בנויים לרוב מצינור בקוטר גדול (מעטפת) בו מורכב נחשון גז (SHELL AND TUBE CHILLER). הגז המתאייד נמצא בתוך הנחשון או הצינורות והמים המתקררים במעטפת.

2.6.3 מעבה מקורר על-ידי אוויר

המבנה דומה למאייד התפשטות ישירה, כמתואר בסעיף 2.6.1.

2.6.4 מעבה מקורר על-ידי מים

המבנה דומה למאיידים לקרור מים, אך המים במעבים זורמים דרך הנחשון או הצינורות הקטנים והגז נמצא במעטפת.

2.6.5 מעבה מאייד

מעבה מאייד, מבוסס על קונספט מעבה אוויר, בתוספת של ריסוס מים על הצינורות החמים. המים מתאדים כתוצאה מהחום ומזרימת האוויר, וזה גורם לירידת הטמפרטורה של המעבה עד לקרבת הטמפרטורה של התרמומטר הלח. ביום קיצי רגיל באזור החוף אפשר להגיע לטמפרטורה של 26°C בשעה שטמפרטורת האוויר היא 35°C . למרות נתונים אלה, אין מעבים רבים מטיפוס זה בנמצא היום, כי הם מאבדים מיעילותם כשמצטברת אבנית על הצינורות והם נזקקים לטיפול רב.

2.6.6 מגדלי קירור

רוב מתקני מיזוג האוויר בעלי תפוקה מעל לכמה עשרות טונות משתמשים במעבי מים. המים, שהתחממו במעבה, מוזרמים דרך מגדל הקירור, מתקררים ומוחזרים למעבה. ישנם סוגים שונים של מגדלי קירור, אך כולם מבוססים על אותו עקרון פעולה, כלומר חלק קטן מהמים שבמחזור מתאייד במגדל. בעת האידוד נפלט חום (כמוס) וכתוצאה מכך יורדת הטמפרטורה של שארית המים ומתקרבת לטמפרטורה של התרמומטר הלח. לכן, יעילות המגדל גדלה ככל שהאוויר החיצוני יותר יבש.

קיימים מגדלים שבהם זרימת האוויר טבעית (כמו בארובה) וקיימים מגדלים שבהם זרימת האוויר מאולצת על-ידי מפוחים היונקים מלמעלה או הדוחסים מלמטה.

יש מגדלים, שבהם החלל ריק והמים מרוססים לתוך החלל בטיפות קטנות מאוד על-ידי העברתם דרך נחירי ריסוס. יש מגדלים הממולאים בלוחות עץ או בכורת פלסטית או בחומרים שונים אחרים, כאשר המים מטפטפים על שטחי המילוי.

יש מגדלים, שבהם המעטה עשוי מבטון, מפח מגולוון, מפברגלס, מלוחות-אזבסט, מלוחות-עץ ועוד. השיקולים, הנלקחים בחשבון בעת בחירת מגדל, הם: יעילות (זאת אומרת עד כמה ניתן להתקרב לטמפרטורת הטרמומטר הלח), המחיר, הגודל הפיזי, הרעש, הצורה האסתטית, התחזוקה ואורך החיים. משקלם של השיקולים השונים משתנה ממקום למקום. למשל, במתקנים תעשייתיים רבים אין חשיבות מיוחדת לרעש, לצורה האסתטית ולגודל, בו בזמן שבבנייני פאר בעיר השיקולים האלה יכולים להיות מכריעים.

2.6.7 מדחסים הרמטיים

במיתקנים קטנים, כמו מזגנים ביתיים ויחידות מושלמות קטנות, משתמשים במדחסים בוכנתיים הרמטיים. המדחס והמנוע בנויים על ציר משותף, וכל היחידה מורכבת בתוך מעטה סגור הרמטית שממנו יוצאים חיבורי החשמל והגז. המדחסים אינם מיועדים לתיקון, ובמקרה של תקלה הם מוחלפים בחדשים. יתרון מדחסים אלה הוא מחירם הנמוך יחסית ואמינותם, שכן ייצור סדרות גדולות מאפשר הפעלת ציוד מתוחכם ועל-ידי כך קבלת מוצרים אמינים במחיר נוח והם אינם דורשים טיפול ואחזקה. בגלל המחירים הגבוהים בארץ, יש שמשפצים את המדחסים, אך אחרי שיפוץ אמינותם פוחתת במידה ניכרת.

2.6.8 מדחסים סמי הרמטיים

2.6.9 במתקנים בינוניים, מ-10 טונות קירור ועד לכ-100 טונות קירור, משתמשים לרוב במדחסים סמי הרמטיים. מדחסים אלה אינם מיוצרים בסדרות גדולות והם יחסית יקרים, לכן יש דרישה מצד הלקוחות שיהיו ניתנים לתיקון. גם כאן המנוע מורכב על ציר המדחס, המנוע מחובר על-ידי עוגן ואטם לגוף המדחס, כך ששניהם מהווים יחד מבנה סגור ואטום, הניתן לפירוק לשם מתן שירות. הגז הקר, היוצא מהמאייד, עובר דרך החללים בבית המנוע המקרר אותו, ומשם נכנס למדחס.

2.6.9 מדחסים פתוחים

מדחס פתוח מאופיין על-ידי הפרדה מכאנית בין המנוע למדחס. כאן המדחס מהווה יחידה עצמאית, כאשר גל הארכובה בולט מצידו האחד של המדחס ומתחבר למנוע באמצעות גלגלים וחגורות. מבנה זה מאפשר טיפול קל במדחס, הניתן לפירוק, אולם יציאת גל הארכובה מגוף המדחס מהווה נקודת תורפה. דליפת גז נמנעת על-ידי אטם מיוחד מסביב לגל.

אטם זה יש לבדוק בתדירות די גבוהה ולהחליפו בשעת הצורך. דליפות באטם קורות לרוב כשהמדחס אינו מופעל לתקופות ארוכות והאטם מתייבש.

2.6.10 מדחסים צנטריפוגליים

במתקנים גדולים יותר משתמשים לרוב במדחסים צנטריפוגליים. מדחסים כאלה מסופקים, בדרך כלל, כחלק מיחידת קירור מושלמת הכוללת את המדחס עם מנוע שלו, הבנויים כיחידה סמי-הרמטית מצנן המים הוא, בדרך כלל, מהטיפוס של "צינורות בתוך מעטה" או מהסוג "המוצף", דהיינו המים (ולא הגז) עוברים דרך הצינורות והמעטה מוצף בנוזל קירור, המתאדה תוך כדי רתיחה בטמפרטורה נמוכה. מצוץ מווסת את הזנת הנוזל למעטה ושומר על מפלס פני הנוזל. גם המעבר הוא מהטיפוס של "מעטפת עם צינורות". המזמין יכול לבחור את המעבה והמאייד בגדלים המתאימים לתנאי העבודה המתוכננים, כלומר בהתאם לטמפרטורה הצפויה של מי הקירור ושל המים המצוננים. בעת בחירת הציוד תעמוד בפני המזמין בעיית הכדאיות להגדיל את היעילות על חשבון תוספת להשקעה הראשונית.

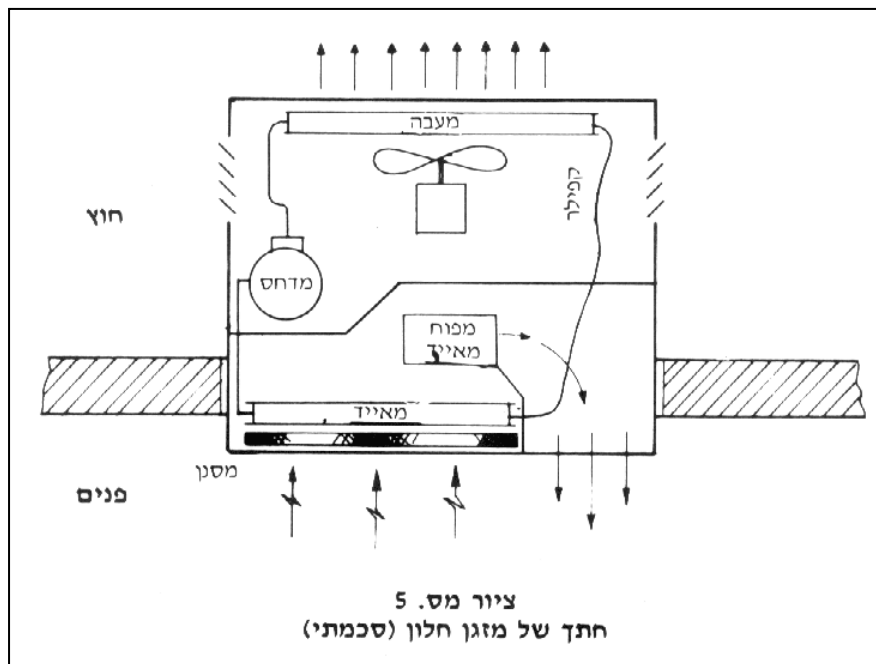
פרק 3 - סוגי מערכות מיזוג אוויר

3.1 יחידות מושלמות

יחידה שכל מרכיביה בנויים בתוך מסגרת אחת נקראת יחידה מושלמת או PACKAGED SELF CONTAINED UNIT.

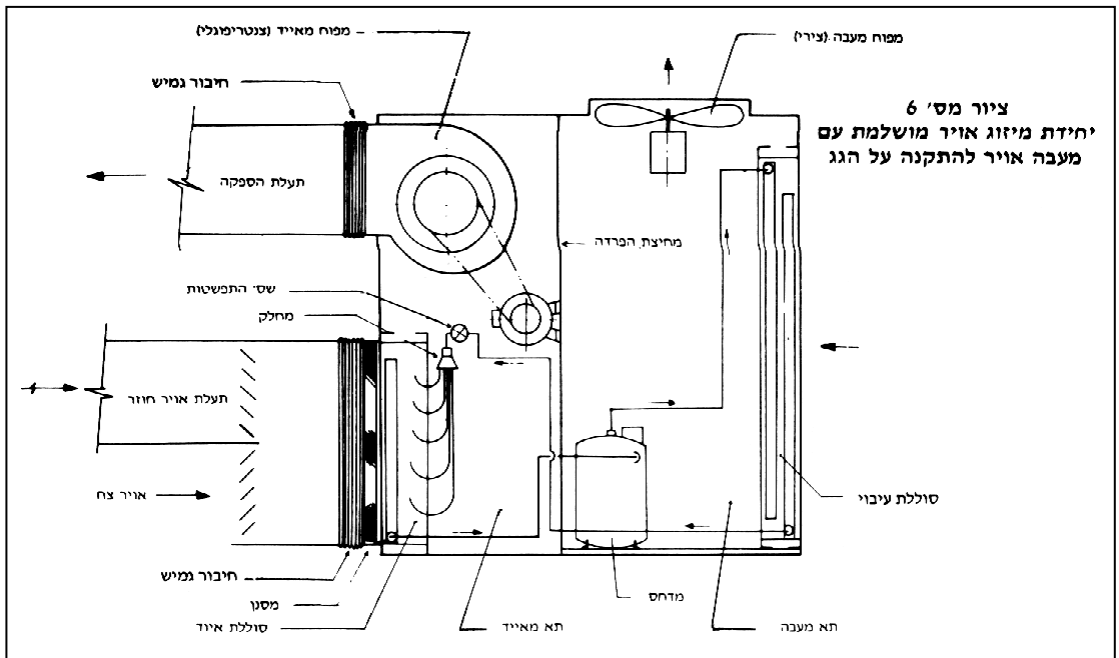
3.1.1 מזגני חלון

מזגנים ביתיים בגדלים מ-0.5 עד 2 טונות קרור. במסגרת אחת מורכבים: מדחס הרמטי, מעבה אוויר עם מפוח, מאייד התפשטות ישירה עם מפוח, צינור קפילרי (הפועל כשסתום התפשטות) ומסנן אוויר. בדרך כלל, מפוחי המעבה והמאייד מופעלים על-ידי מנוע אחד. היחידה כוללת גם אביזרי פיקוד כמו תרמוסטט, מפסקי זרם, כבלים וכו'.



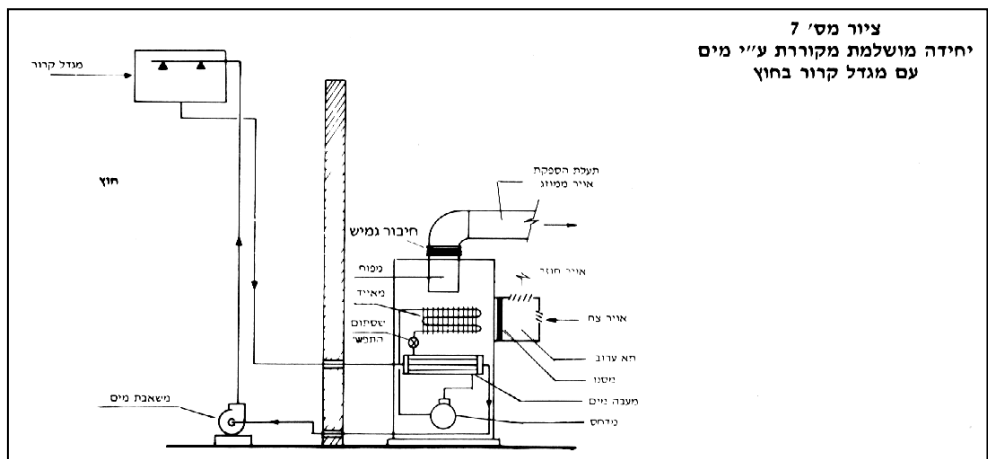
3.1.2 מזגנים מקוררים על-ידי אוויר

קיים מבחר גדול של יחידות יותר גדולות עד לכמה עשרות טונות קרור, כשכל הרכיבים, כולל מעבה האוויר, בנויים כיחידה אחת. היחידות הללו קבועות מחוץ לשטח הממוזג ותעלה של אוויר מוליכה את האוויר הממוזג אל האיזור הממוזג, ותעלה שנייה מעבירה את האוויר החוזר מהאיזור הממוזג בחזרה ליחידה.



3.1.3 מזגנים מסחריים מקוררים על-ידי מים

יחידות כאלה, המצוידות במעבי מים, יכולות לעמוד בתוך האזור הממוזג, כי אין קושי מיוחד להזרים את מי הקירור דרך צינור-מים רגיל מהמגדל למעבה ובחזרה. היחידות הללו ניתנות לחיבור למערכת תעלות אוויר, או - כשמדובר באולם אחד - אפשר לפזר את האוויר הממוזג הישר מיציאת היחידה לתוך השטח הממוזג.

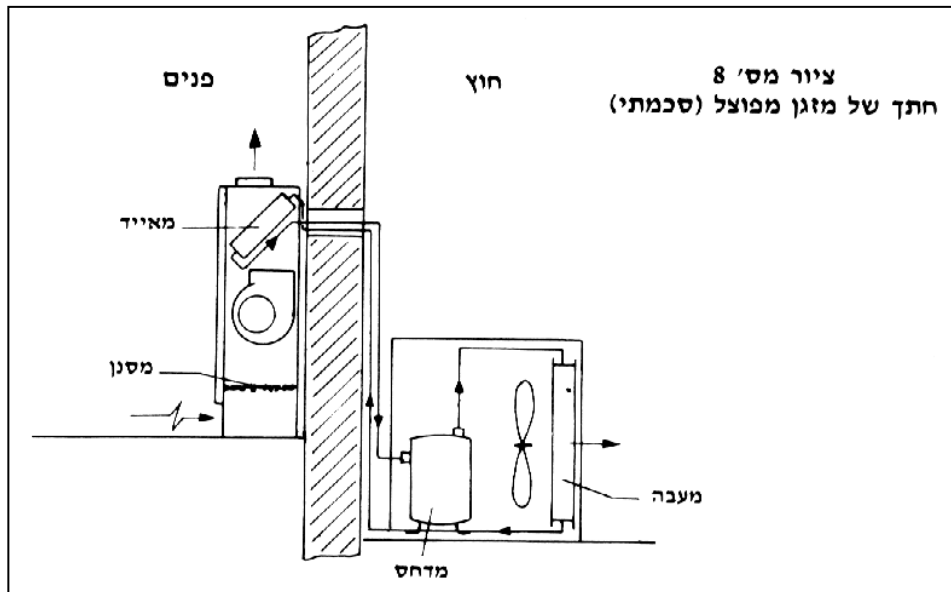


3.2 יחידות מפוצלות

יש מספר סידורים של פיצול המתקן לשתי יחידות, כשכל אחת בנויה בתוך מעטה משלה.

3.2.1 יחידת עיבוי + יחידת פיזור אוויר

יחידת העיבוי מורכבת מהמדחס עם המנוע שלו בתוספת מעבה מים או מעבה אוויר. היחידה הזאת עומדת בחוץ ומספקת נוזל קירור ליחידת המאייד העומד בפנים. יחידת המאייד מורכבת ממאייד להתפשטות ישירה, ממפוח עם מנוע, ממסנן אוויר מווסת לכיווןן כמויות אוויר חוזר ואוויר טרי, אשר יכנסו ליחידה. יחידות אלה יכולות להתחבר למערכת של תעלות אוויר או לפלוט אוויר ישירות לתוך האיזור הממוזג.



סוגי מזגנים מפוצלים, המיועדים לשימוש ביתי ומסחרי

מזגן עילי - מיועד להתקנה בגובה של מעל 2 מ' מהרצפה.

מזגן רצפתי - מיועד להתקנה קרוב לרצפה.

מזגן תקרתי - מיועד להתקנה בתקרה (מפזר אוויר לארבעה כיוונים).

מזגן מתועל - מיועד לפיזור אוויר רב אזורי.

מזגן נייד - היחידה הפנימית מצוידת בגלגלים, כאשר היחידה החיצונית מותקנת מחוץ לחלון או בפתח הניתן לסגירה.

מזגן אינוורטר (Inverter) - בעלי מערכת אלקטרונית, המשנה את תפוקת המדחס בהתאם לעומס החום שאותו אמור המזגן למזג.

מזגן רב מאייד - היחידה החיצונית שלו בנויה כמכלול אחד, הכולל לעיתים יותר ממדחס אחד, אשר מחוברת ליותר מיחידה פנימית אחת.

מערכת מפוצלת בעלת תפוקה משתנה (אינוורטר)

המערכת מורכבת ממדחס סקרול רגיל בעל 2 לוליינים, המשולבים אחד בתוך השני, כאשר אחד מהם נע בתנועה סיבובית במישור אופקי כלפי השני, ובצורה זו דוחס באופן רציף את הקרר. מבנה המדחס ופעולת הדחיסה הרציפה מקנים לו מגוון יתרונות על פני המדחס הבוכנתי: נצילות גבוהה יותר, פעולה שקטה ואמינות גבוהה יותר. במדחס ייחודי זה משולב מנגנון מפריד/מחבר (המתפקד בדומה למערכת המצמד ברכב), אשר מפקד באמצעות שסתום סולנואיד. מנגנון זה משלב בין שני הלוליינים ומפריד ביניהם. כאשר הלוליינים מופרדים, המדחס, בדומה למנוע ברכב, מסתובב בהילוכי סרק (ניוטרל), אינו דוחס, אינו מפיק קירור/חימום וצריכת החשמל שלו מזערית. כאשר הם משולבים, מתחדשת פעולת הדחיסה, ובעקבותיה מתחדשת פעולת הקירור/חימום (על בסיס מחזורים של כעשרים שניות).

לקבלת 50% מהתפוקה (במחזור של עשרים השניות), הלוליינים משולבים למשך זמן של עשר שניות ומופרדים לפרק זמן של עשר שניות.

לקבלת 80% מהתפוקה (במחזור של עשרים השניות), הלוליינים משולבים לפרק זמן של שש-עשרה שניות ומופרדים למשך ארבע שניות.

לקבלת אחוזי תפוקה משתנים ברצף, מערכת הפיקוד מווסתת באופן רציף את משכי הזמן שבהם הלוליינים משולבים. ראוי לציין, שהמערכת מסוגלת לספק דרגות תפוקה רבות, בגבולות שבין עשרים אחוז לבין תפוקה מלאה.

במערכת זו, בדומה למדחס האינורטר, התפוקה בכל נקודת זמן מותאמת במדויק לעומס התרמי העכשווי בחלל הממוזג. בהתאם, היא נודעת כמערכת בעלת גריעת לחות משופרת.

מערכת מיני מרכזית/מרכזית - VAV

מערכת זו מבוססת על דמפרים (מדפי ויסות), המווסתים את ספיקת האוויר לחדר בהתאם לעומס התרמי העכשווי, ובכך שומרים על הטמפרטורה הרצויה בחדר. במזגנים המפוצלים, תפעולם נעשה באמצעות שלט אלחוטי המשגר תשדורת לעינית (יחידת תצוגה), המחוברת בחוט למערכת פיקוד VAV מרכזית.

באמצעות השלט ועל פי דרישות הביצוע, אפשר גם להפעיל את המזגן ולדוממו. החברות מספקות, כאופציה, גם שלט חוטי המותקן על הקיר.

אחד מיתרונותיה הגדולים של המערכת, הנו האפשרות להתקין דמפרים בכל החדרים, כולל הסלון. יותר מזה, המערכת תדע בכל נקודת זמן את הפתיחה היחסית של כל דמפר ודמפר, היא תיקח בחשבון גם את גודל הדמפרים, ותחשב במדויק את העומס התרמי הכולל בבית או במשרד בכל רגע ורגע. מידע זה ישוגר ליחידה הפנימית לויסות של מהירות המפוח הפנימי, וליחידה החיצונית לויסות התפוקה.

מערכת מיני מרכזית/מרכזית - VRV

מערכת זו עושה שימוש בטכנולוגיה ייחודית, המאפשרת הפעלתן של מספר יחידות מאייד פנימיות עצמאיות המחוברות ליחידה עיבוי חיצונית אחת (עם מדחס בודד). פריצת דרך טכנולוגית זו סללה את הדרך למגוון רחב של ציוד ושל אפיוני ביצוע, שהלך וגדל עם השנים. כיום מסוגלות מערכות אלה, הידועות כחוסכות אנרגיה, לפעול עם 32 יחידות פנימיות, בתפוקה כוללת של כשלושים טונות קירור ובטמפרטורות חוץ נמוכות במיוחד.

החיסכון באנרגיה מושג בזכות יכולתה המובנית של המערכת לשנות באופן רציף את התפוקה ולספק את כמות האנרגיה הנדרשת מיחידת עיבוי אחת ליחידות הפנימיות בכל רגע נתון (טכנולוגיית Inverter). זאת, בניגוד למערכות המוכרות של מזגנים מפוצלים ומיני-מרכזיים, אשר מתוכננות ומייצרות אנרגיה למצב העומס המרבי, שבפועל מתקיים בפרקי זמן קצרים בלבד. פירושה המעשי של עובדה זו הוא שבתנאים של עומס חלקי קיים בזבז אנרגיה. בהתאם לאופי הפעלת המערכת, אפשר להגיע לחיסכון של עד 70% בצריכת החשמל בשיטת VRV לעומת מזגנים מיני מרכזיים.

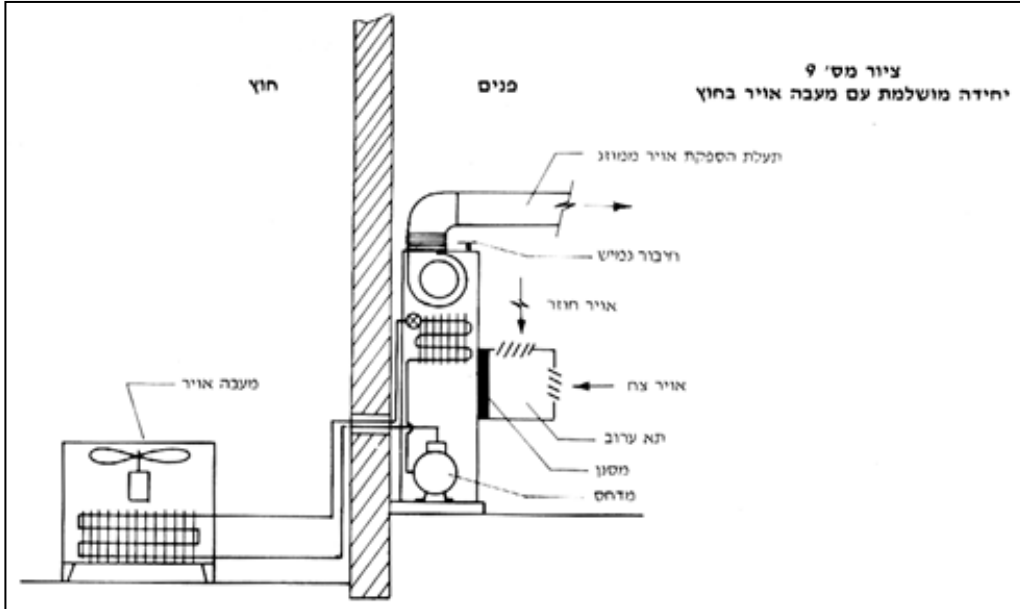
בכל יחידה פנימית במערכת מותקן שסתום התפשטות אלקטרוני, אשר מאפשר זרימת קרר בדיוק בכמות הנדרשת בכל רגע נתון. כך נשמרת בדיוק רב הטמפרטורה הרצויה בחלל. גם בכך שונה מערכת VRV ממערכות קיימות, אשר בהן הטמפרטורה בחלל משתנה בתחום של כ-3°C בין הפעלה להפסקה של המדחס ביחידה החיצונית.

מערכות אלו פועלות באופן שקט במיוחד, הן ביחידות הפנימיות והן ביחידה החיצונית. הפשטות המכנית שלהן, המתבטאת במספר קטן יחסית של חלקים נעים, בשילוב השימוש ברכיבים איכותיים והפחתה משמעותית של מספר התנעות המדחסים, הביאו את תפקוד המערכת לרמת אמינות גבוהה במיוחד. האמינות מאפשרת ליצרן לספק אותה עם שלוש שנות אחריות.

במערכות אלה ניתן לשלוט באופן גמיש. הדבר נכון במיוחד בכל הקשור לשליטה פרטנית על כל יחידה פנימית, ולחלוקת שליטה על מספר יחידות פנימיות באמצעות תוספת בקר להפעלה ולכיבוי או באמצעות התחברות למערכת בקרת מבנה עצמאית או משולבת.

3.2.2 מעבה אוויר + יחידה מושלמת

מעבה האוויר עם המפוח שלו בנויים בתוך מעטה משותף ועומדים בחוץ ויחידה מושלמת (אך בלי מעבה) המתוארת ב-ג) עומדת בתוך השטח הממוזג.



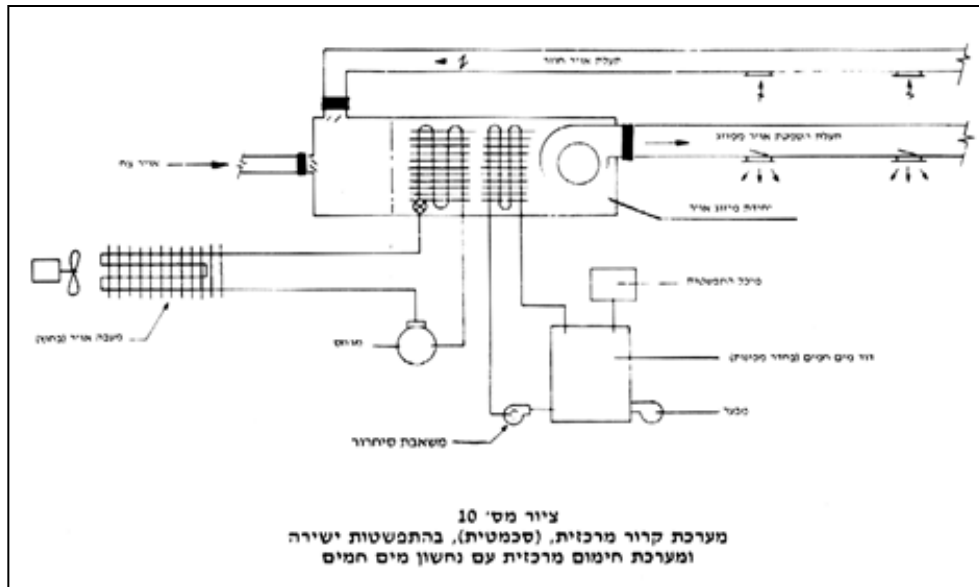
3.3 מערכות מרכזיות בהתפשטות ישירה

ציור מס' 10 מראה סכימה של מערכת טיפוסית בהתפשטות ישירה.

מרכיבי המערכת האופייניים הם:

- א. מדחס בוכנתי עם מנוע.
- ב. מעבה אוויר, הממוקם בחוץ, ומערכת צינורות המקשרת בין המעבה, המדחס ויחידת פיזור אוויר.
- ג. יחידה לפיזור אוויר, שהינה למעשה מאיד עם מפוח, מדפים לוויסות האוויר הטרי והאוויר החוזר, מסנני אוויר וסוללות לחימום בחורף.
- ד. מערכת תעלות מחושבת להזרמת כמויות מתאימות של אוויר מהיחידה לפיזור אוויר לכל איזור בשטחים הממוזגים. בתוך התעלות מורכבים וסתי אוויר, המאפשרים ויסות כמויות האוויר בכדי למנוע קרור יתר באזור אחד או חוסר קירור באזור אחר.
- ה. פיקוד, כגון תרמוסטט במקום מרכזי, המפסיק או מפעיל את פעולת הקירור לפי הצורך.

- ו. דוד הסקה לחימום מים, צנרת למים חמים, משאבת סחרור וכו' להספקת מים חמים לסוללת החימום שבתוך היחידה לפיזור אוויר.

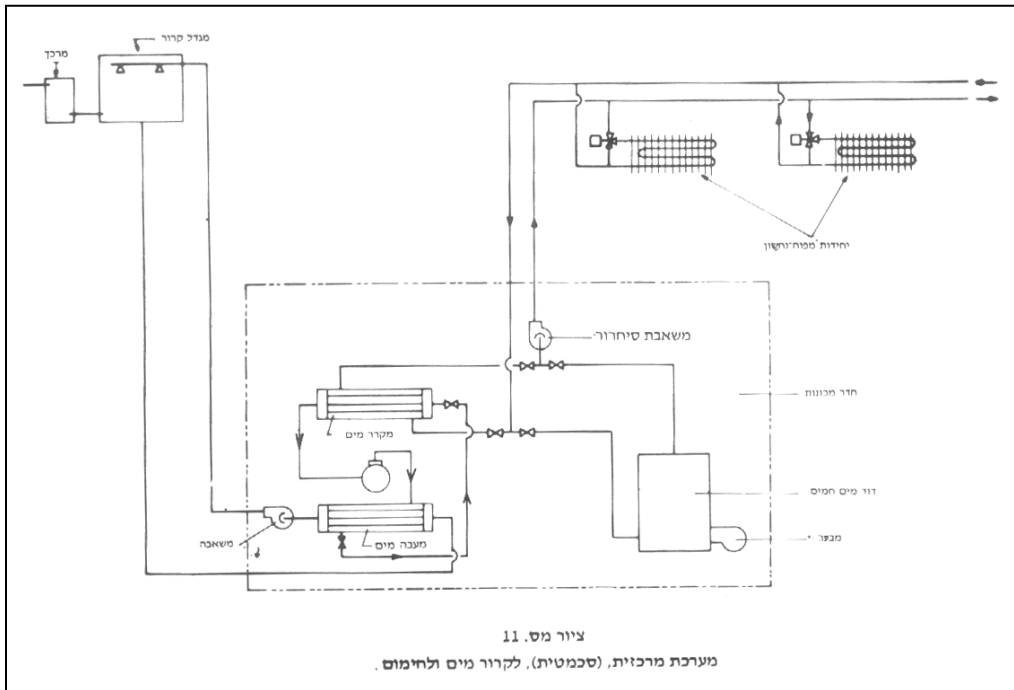


הערות:

- א. אפשר להשתמש במעבה מקורר על-ידי מים. במקרה כזה יהיה צורך במגדל קירור.
- ב. ניתן לחבר למדחס כמה יחידות פיזור אוויר, אבל רצוי להימנע מכך בגלל קשיי ויסות. כמו כן יש למעט בצנרת גז, בגלל סכנת הדליפות.
- ג. שיטה זו יעילה וחסכונית בהשקעה ראשונה, מתאימה במיוחד לאולמות, למסעדות ובתים פרטיים, ואינה מתאימה לאותם האזורים בבניינים כמו בתי מלון, בתי חולים או בתי משרדים שבהם יש צורך בפיקוד נפרד לחדרים.
- ד. התרמוסטט מורכב, בדרך כלל, בתעלת האוויר החוזר ושומר על הטמפרטורה הממוצעת בכל האזור המקורר.
- ה. קיימים פתרונות שונים לוויסות בנפרד לכל חדר, כגון ויסות כמות האוויר הממוזג הנכנס, או חימום חוזר (re-heat) של חדרים המתקררים יותר מדי (האחרון מאוד לא יעיל מבחינה אנרגטית).

3.4 מערכת מרכזית למים קרים

ציור מס' 11 מראה סכימה טיפוסית של מערכת מרכזית פשוטה, המקררת מבנה באמצעות מים מקוררים או מחוממים, הזורמים דרך צנרת ויחידות מפוח נחשון. שיטה זו מתאימה במיוחד לבניינים המחולקים למספר אזורים או חדרים, הדורשים ויסות נפרד.



3.4.1 ציוד המותקן בחוץ

מגדל לקירור מים.

3.4.2 ציוד המותקן בחדר מכונות

יחידה לצינון מים המורכבת ממדחס, ממעבה מים וממאייד לקרור מים.

משאבה, המזרימה מי קרור מהמגדל דרך המעבה ובחזרה.

משאבה, המזרימה מים מקוררים או מחוממים דרך הצנרת המספקת מים ליחידות מפוח-נחשון ופיזור אוויר.

דוד ומעבר למים חמים.

ברזים, המחברים את הצנרת למים מקוררים בקיץ או למים מחוממים בחורף.

מכשירי פיקוד, שתפקידם לבצע פעולות, כגון:

- א. הפעלת המכשירים בסדר מסוים. למשל, משאבת המגדל ומפוחי המגדל. שסתומי מים קרים, משאבת סחרור, מדחס קרור (הפיקוד צריך להבטיח שהמדחס לא יוכל לפעול מבלי ששתי המשאבות תפעלנה).
- ב. תרמוסטט, השומר על טמפרטורה קבועה של המים הקרים על-ידי הפעלת פעולות המדחס והפסקתו, או על-ידי ויסות תפוקת המדחס.
- ג. מיכשור דומה להפעלת מערכת החימום בחורף.

3.4.3 ציוד המותקן בתוך הבניין

צנרת מבודדת, המובילה ליעדם את המים הקרים (או החמים), מחלקת אותם בכמויות המתאימות בין המכשירים השונים, ומחזירה אותם לחדר המכונות.

יחידות מפוח-נחשון, המקבלות מים מהצנרת ומפזרות אוויר מקורר (או מחומם) במישרין לתוך החלל הממוזג. ביחידות אלו קיים חיבור ליניקת אוויר טרי ומסנן.

יחידות פיזור אוויר מחוברות, לרוב, לתעלות המחלקות את האוויר בין מספר חדרים או שטחים או למספר "מפזרים" באולם גדול. כמו כן, הן מחוברות לתעלות המחזירות אוויר לשימוש חוזר ולתעלות יניקת אוויר צח. יחידות אלה, בעקרון, הן "יחידות מפוח-נחשון" אך מטפלות בכמויות גדולות של אוויר.

מכשירי פיקוד אופייניים למערכת מרכזית, כגון תרמוסטטים השומרים על טמפרטורה קבועה באזור הממוזג על-ידי שסתומים המפסיקים או מווסתים את זרימת המים דרך הנחשונים.

תרמוסטטים, המכוונים את כמויות האוויר הצח בהתאם לטמפרטורה בחוץ.

מערכת ספיגה

מערכת זו דומה למחזור קירור רגיל, הפועל על-ידי דחיסה מכאנית. שיטה זו מנצלת את עקרון ספיגת שני חומרים - מים וקרר אמוניה (bromide lithium) - האחד בשני, על מנת להגדיל/להקטין את רמת הלחץ והטמפרטורה של הקרר, כתחליף למדחס.

אלמנט הקירור נוצר עקב התאדות הקרר (במאדה) המצוי במצב צבירה נוזלי. אדים אלה נספגים תחילה בחומר סופג ואחרי כן מסולקים מתוכו על-ידי חימום בלחץ אדים חלקי, גבוה יותר, ומופשרים בתוך מחליף החום (מעבה) על-ידי פעולת קירור. על פי רוב, פעולת החימום מבוצעת באמצעות גוף חימום או מערכת הסקה חיצונית.

ניתן להפריד את החומרים שנספגו האחד בשני גם באמצעות חום שיורי, דבר המקטין את הוצאות התפעול השוטפות.

יעילות מערכת ספיגה ממוצעת נמוך יחסית למערכות מיזוג תעשייתיות קונוונציונליות (בעלות מנגנון דחיסה), ואילו עלותן הראשונית גבוהה מאד ביחס למערכות אלה.

פרק 4- קווים מנחים לתכנון ולבחירה של מזגנים לתחום

הביתי והמסחרי

תנאי התחרות השוררים בשוק מדגישים ביתר שאת את הצורך בתכנון וליווי הפרויקט על-ידי גורם מקצועי ומיומן, מתוך מחויבות למיצוי דרישות ואפיוני ביצוע. ניתן לראות כי המגמה הרווחת היא לפשט את הליך ההתקנה, זאת מבלי להתפשר על יעילות אופטימאלית בעלות תפעול מינימאלית.

כללי יסוד, שלפיהם מומלץ לתכנן מתקן מיזוג אוויר:

1. **התבסס** על אפיוני הביצוע הנדרשים ועל אופי הפעילות במבנה, בחלוקה לאזורים השונים בחלל הממוזג.
2. **התייחס** לאזור הגיאוגרפי, שבו תותקן המערכת (טמפרטורה/לחות יחסית), בהתבסס על נתוני הטבלאות הפסיכומטריות.
3. **הפחת** עומס תרמי בכל האמצעים הנדרשים (בידודו ואוורורו של חלל גגות, התקנת חלונות מבודדים, קרינת שמש וכדומה).
4. **חשב** את העומס התרמי על המבנה. ראה טופס תחשיב תפוקה, בהמשך.
5. **ודא** כי היחידות יותקנו הרחק מלוחות חשמל, מציוד אלקטרוני ומחפצים הרגישים ללחות ורטיבות. כמו כן, התייחס להולכת מי ניקוז, למניעת דליפות עובש ורטיבות, למיקום פתחים ומעברים, להחזרת ריחות, לשחרור אוויר מיחידת המעבה ולנגישות לשירות.
6. **תכנן** צנרת קרר קצרה ככל האפשר, עם מינימום כיפופים וזוויות. בכל מקרה חריג יש להתייעץ עם מהנדסי החברות.
7. **התחשב** ברמת הרעש המוקרן בעת פעולת המזגן, הימנע מהתקנה בקרבת אזורים רגישים, כגון חדרי שינה ופירים מרכזיים.
8. קח בחשבון **אובדן תפוקה** של 0.3% בממוצע לכל מטר צנרת, לאחר שבעת המטרים הראשונים. כמו כן, התייחס לחללים גבוהים ולבתים רב מפלסיים ולכיוון החשיפה. בצד דרום ומערב מומלץ להוסיף לתחשיב מקדם ביטחון.
9. הוספת **אוויר חיצוני** (צח) נעשית לצורכי החלפות אוויר טרי ולסילוק אוויר רווי בפחמן דו-חמצני וריחות. ההחלפה נדרשת בחללים ממוזגים, שבהם שוהים אנשים רבים למשך פרקי זמן ממושכים. בדירות מגורים אין הכרח

בתוספת כזו, ובהן אפשר להסתפק בחדירת אוויר טבעית. אולם, בחישובי העומס יש להתייחס לנושא בהתאם למשתנים הבאים:

- ספיקת אוויר מומלצת מהסך הכללי - 10 CFM לאדם או 2 CFM ל-1 מ"ר, כאשר התקן מחייב מ-5% ועד 25%.
- עומס החום המתווסף - 60 BTU/H-100 CFM (6000 BTU/H-100 CFM) בממוצע (אין להוסיף נתון זה אם הוחלט כי מכסת האוויר הצח "תסופק" מדלתות, מחלונות ומחרכים).
- 10. **השתמש** בטופס "תחשיב עומס מעודכן" ורשום את מכלול נתוני התכנון.
- 11. **החלט** על סוג מערכת מיזוג האוויר הנדרשת, בין השאר, על פי המשתנים הבאים: אפשרויות התקנה לעניין מיקום יחידת המאייד והמעבה; פיזור אוויר אופטימאלי; תעלות; מפזרי אוויר; מעברי צנרת; ניקוז; פיקוד ובקרה; תשתית החשמל; נגישות לשירות עתידי; רמת רעש; אסתטיקה.
- 12. **התאם** את הציוד ואופי ההתקנה למפרטי החברה הפרטנית.
- 13. **הקפד** על רכישת ציוד בעל תו תקן ישראלי 994 חלק 1-4, אשר עומד בדרישות חוק החשמל, המחייב שימוש בצנרת, בכבל חשמלי ובאביזרי התקנה תקינים.
 - תקן זה חל על מזגני אוויר, המורכבים מיחידה אחת או יותר (משולב/מפוצל). התקן קובע דרישות לבטיחות החשמל של המזגנים ושיטות לבדיקת פעולתם.
 - תקן זה אינו חל על מערכות מיזוג אוויר תעשייתיות בעלי מעבים המקוררים בעזרת מים; מערכות בעלות מדחסים פתוחים (הנעה חיצונית); מערכות המוזנות בזרם ישר.
 - בדוק את תווית אנרגיה צהובה (חובה בכל מזגן). זו כוללת מכלול נתונים מהותיים, המוצהרים על-ידי היצרן בעניין אפיוני הביצוע של המזגן. הנתונים הם: שם היצרן והדגם; הספק מבוא (צריכת החשמל בקילוואט); מקדם היעילות C.O.P; תפוקת הקירור והחימום של המזגן (בקילוואט ראה נספח מצורף).
 - רכוש מזגן המותאם לתקן הירוק, העוסק בסוג הקרר (ידידותי לסביבה).

תנאי תכנון ממוצעים הנבדקים במכון התקנים

בקירור תנאי פנים - 27°C D.B ; 19°C W.B

תנאי חוץ - 35°C D.B ; 24°C W.B

בחימום תנאי פנים - 20°C D.B

תנאי חוץ - 7°C D.B ; 6°C W.B

תחומי העבודה - טמפרטורת חוץ 7°C ; 45°C - בתנאים מיוחדים אפשר להזמין

בקר אוטומטי ל- 0°C .

השפעות תנאים אקלימיים ביחס לאזורים גיאוגרפיים

תחשיב עומס חום למזגני אוויר

פרק 5 – חסכון אנרגיה במערכות מיזוג אוויר

5.1 צריכת אנרגיה על-ידי משאבות ומפוחים

חרף העובדה שרוב האנרגיה במתקני מיזוג אוויר נצרכת להפעלת המדחסים ו/או דודי ההסקה, כמות די רצינית של אנרגיה נצרכת על-ידי משאבות ו/או מפוחים.

צריכת החשמל במשאבות נקבעת על-ידי ספיקת המים, מפלי הלחץ וצינורות, הבדלי גובה (במעגל פתוח, כמו מגדל קרור) מפלי לחץ דרך מכשירים, כמו מעבה, מאייד, מרססים וכו', וביעילות המשאבה והמנוע. יש גמישות מסוימת למתכנן בקביעת הפרטים הללו ועליו לשקול את החסכוניות כנגד ההפסדים. למשל, הפחתת כמות המים תקטין את אנרגיית השאיבה ותגדיל את אנרגיית הדחיסה, כי יהיה צורך לקרר את המים לטמפרטורה יותר נמוכה.

צנרת בקוטר גדול יותר תעלה יותר ותחסוך אנרגיה בעתיד. גם משאבה ומנוע יעילים יותר עלולים לעלות יותר אך יחסכו בעתיד. החלטות המתכנן צריכות להביא בחשבון גם את העלייה הצפויה במחירי אנרגיה בעתיד. גורמים ושיקולים דומים מתייחסים למערכת האוויר, כמות האוויר, מידות חתך התעלות, יעילות המנוע, המאוורר וכו'. יש לזכור, שכל האנרגיה היעילה המושקעת במשאבה או במפוח הופכת לחום החודר לתוך המים או האוויר. כשמדובר בקרור, חום זה מתווסף לעומס הקירור.

5.2 איבודי אנרגיה במערכות מים ואוויר

בצנרת, המזרימה מים ליחידות מיזוג האוויר, נמצאים מים קרים (או חמים) וכתוצאה מכך קיים מעבר חום דרך דופן הצינור, הגורם לאיבוד אנרגיה. מקטינים את האיבוד על-ידי בידוד הצנרת, כשיש השפעה גדולה לטיב הבידוד אשר תלוי, כמובן, במחירו.

כמו כן, חום חודר דרך דפנות התעלות, במידה וקיים הפרש טמפרטורה בין האוויר בתוך התעלה והאוויר שמחוץ לה. גם איבודי חום אלו ניתן להקטין על-ידי בידוד.

יש לשים לב, שהבידוד לצינורות או לתעלות קרות חייב להיות בלתי חדיר לאוויר או מצופה בצורה הרמטית על-ידי חומר אטום, כדי למנוע עיבוי מים על פני הצינור או התעלה. עיבוי כזה מקלקל את כושר הבידוד, גורם לטיפטוף, לחלודה וכו'.

5.3 השימוש באנרגיה ביחידות ובמערכות השונות

בדרך כלל, אפשר למנות כמה עקרונות בסיסיים שיש להם השפעה ניכרת על השימוש באנרגיה:

- א. מעבה אוויר גורם ללחץ עיבוי גבוה יותר ממעבה המים ולכן מעבה מים עדיף מבחינה אנרגטית.
- ב. מעבה מים זקוק למגדל ולמשאבה (הצורכים אנרגיה) וכן חיונית תחזוקה טובה, כמו טיפול למנוע היווצרות אבנית.
- ג. עדיף איוד בהתפשטות ישירה, כי הוא מאפשר שימוש בלחץ איוד גבוה. בשיטה זו רק מחליף חום אחד (ΔT), ובו בזמן שמאיידים ישנם שני מחליפי חום ושני מפלי טמפרטורות.

בנוסף לכך, בהתפשטות ישירה חוסכים את מערכת צינורות המים, משאבת הסחרור וכו'. החיסרון בהתפשטות ישירה הוא ששיטה זו אינה מציאותית במתקן גדול שבו יחידות פיזור האוויר מרובות ומפוזרות, וזאת בגלל ריבוי צינורות הגז הגורם לדליפות וליקויי פיקוד. יחידות מושלמות, המצוידות במעבי אוויר, צורכות בדרך כלל יותר חשמל לטונה קרור ממערכות מרכזיות המקוררות במים. יחד עם זאת, יש לזכור שהשימוש במערכת מרכזית המופעלת במים קרים, כרוך בסחרור מתמיד של מים מקוררים דרך צנרת מסועפת הצורך אנרגיה וגורם לאיבודי חום דרך הבידוד של הצנרת ובמשאבות במידה והבניין כולו ממוזג ברציפות. השיטה המרכזית יותר חסכונית מהשימוש במספר רב של יחידות מושלמות, אבל אם אין שימוש רצוף בחלקים השונים של הבניין וקיימות תנודות חזקות וממושכות בעומס, יתכן שכדאי להשתמש ביחידות מושלמות, כי אפשר להפעילן אך ורק באותם חלקי הבניין שבשימוש. שיקולים נוספים נגד השימוש ביחידות מושלמות הן בעיות אסתטיות ובעיות של רעש ותחזוקה.

5.4 השפעת תחזוקה על השימוש באנרגיה

בסעיף 2.3 הדגשנו את ההשפעה הגדולה על צריכת אנרגיה, הנגרמת על-ידי שינויים בלחצי היניקה או הדחיסה. הסברנו, שהבחירה הראשונית של הציוד היא הקובעת את הלחצים התיאורטיים ואת היעילות של המערכות.

אולם, למעשה, בהעדר תחזוקה הולמת הלחצים האלו והיעילות משתנים לרעה במשך הזמן, תפוקת המתקן קטנה וצריכת האנרגיה עולה. נדון עתה בכמה מהפגמים השכיחים ביותר המתפתחים בגלל חוסר תחזוקה.

5.4.1 סתימת מסנני אוויר במתקנים הפועלים בהתפשטות ישירה

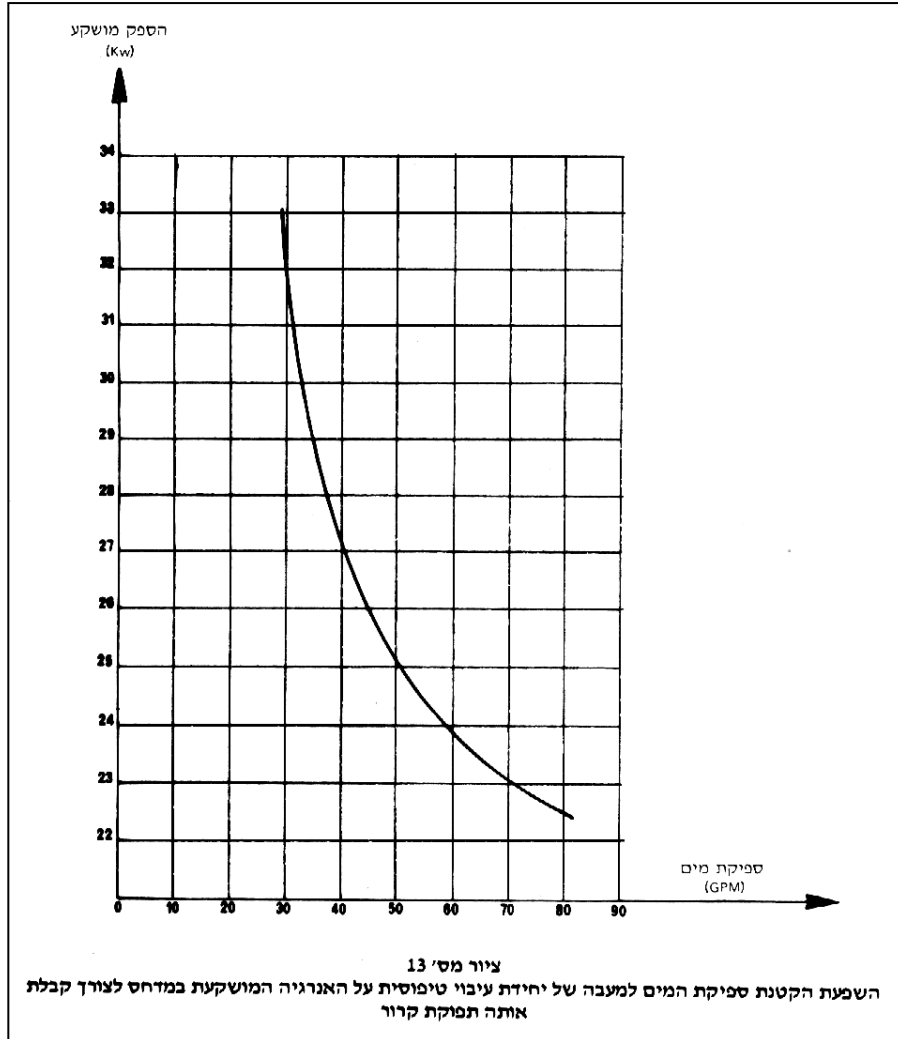
כל מסנן אוויר נסתם בהדרגה ומזמן לזמן יש לנקותו או להחליפו. התדירות של ניקוי מסננים תלויה בכמות האבק או הלכלוך שבאוויר. יש מקומות בהם מספיק ניקוי פעם בשנה ובמקומות אחרים גם פעם בחודש לא יספיק. אם המסנן נסתם, כמות האוויר העוברת דרכו ודרך נחשון הקירור (המאייד) הולכת ופוחתת עם הקטנת זרימת האוויר. כושר המאייד להעביר חום לנוזל המתאייד הולך ופוחת וכמו כן פוחת קצב ההתאיידות. כתוצאה מכך, לחץ היניקה יורד, הנוזל מתאייד בטמפרטורה נמוכה יותר וזה, כמובן, מגדיל בחזרה את כושר העברת חום המאייד. בגלל הגידול ב- ΔT המערכת מתאזנת מחדש, אך בלחץ ובטמפרטורה יניקה נמוכים יותר ובתפוקה נמוכה יותר. כשתהליך סתימת המסנן נמשך, יורדת טמפרטורת היניקה מתחת לאפס מעלות. במצב זה מים, המתעבים על פני המאייד, מתחילים לקפוא ונוצרת שכבת קרח על המאייד. הקרח פועל כבידוד ומקטין את מעבר החום מהאוויר למאייד. הטמפרטורה ולחץ היניקה יורדים עוד יותר, שכבת הקרח הולכת וגדלה ובמהרה כל המאייד נסתם, אוויר מפסיק לעבור ואין קרור. אבל המיתקן ממשיך לפעול ולצרוך אנרגיה.

5.4.2 סתימת מסנני אוויר במתקנים מרכזיים הפועלים במים מקוררים

במקרה זה התוצאה אינה כל-כך קיצונית כמו בהתפשטות ישירה. הקטנת זרימת האוויר בגלל סתימת המסנן, גורמת להקטנת התפוקה של יחידת מפוח-סוללה או של יחידת פיזור האוויר, ובמשך הזמן מתקבלות תלונות שמיזוג האוויר אינו מקרר במידה מספקת. בשלב זה יש להניח שאיש התחזוקה ייגש לטפל במסנן, אך יהיו כאלה שמחמת חוסר ידע או רשלנות יבחרו בטיפול פשוט ומהיר יותר, כלומר ידאגו להורדת הטמפרטורה של המים המקוררים על-ידי כיוונון התרמוסטט. הורדת הטמפרטורה כמובן מגדיל את ה- ΔT בין האוויר והמים ואת תפוקת היחידות, אבל על חשבון שימוש מוגבר באנרגיה (ראה טבלה בדף 10).

5.4.3 סתימת מסנן מים במגדל קירור

סתימת מסנן מים במגדל הקירור מקטינה את זרימת המים דרך המעבה וכתוצאה מכך יורד כושר המעבה לפלוט חום למים. הגז מתעבה בטמפרטורה ובלחץ גבוהים יותר (בכדי להיווכח מה גדולה המשמעות עיין בציור מס' 13).

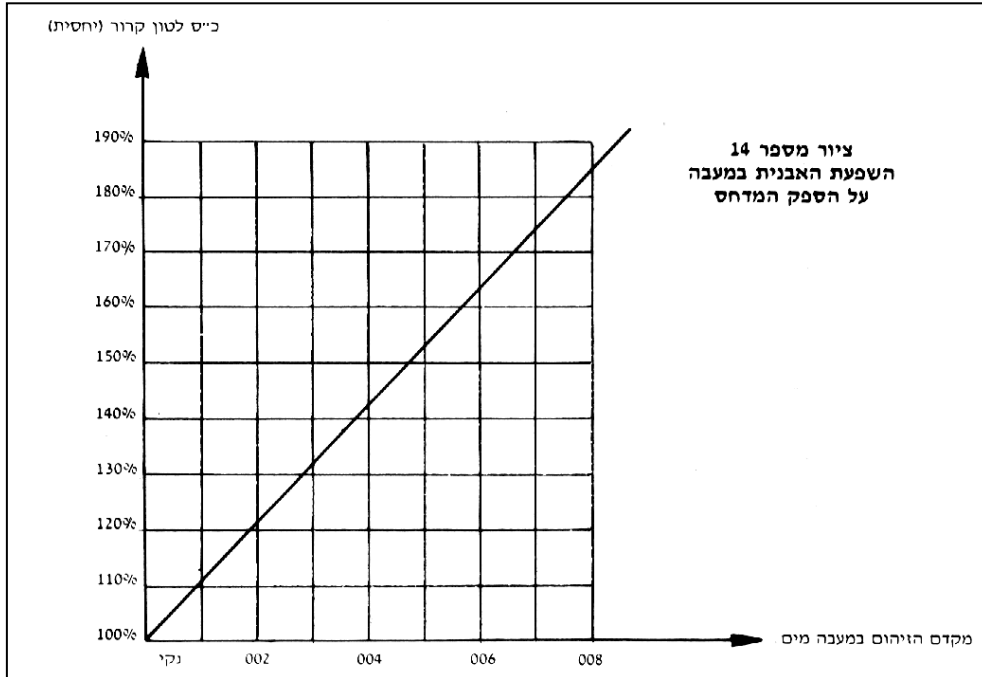


5.4.4 סתימת מרססי מים במגדל קירור

סתימת מרססים גורמת, כמובן, לתוצאה דומה לזו של סתימת מסננים.

5.4.5 התהוות אבנית בצינורות המעבה

אם יש מלחים במי הקירור, הם נדבקים לצינורות החמים של המעבה ובמשך הזמן מתהווה שכבת אבנית, הפועלת כבידוד ומקטינה את כושר העברת החום. התוצאה היא העלאת טמפרטורת העיבוי, והקטנת היעילות של המדחס (ראה ציור מס' 14).



5.4.6 הימנעות טיפול במרכז של מי הזנה למגדל

המרכז זקוק לרגנרציה תקופתית. חוסר טיפול מחיש את תהליך היווצרות האבנית.

5.4.7 חוסר גז במערכת הקירור

אם מתפתחת דליפה קטנה במערכת הקירור, יתכן שהיא לא תורגש מיד, אך במשך הזמן תגרום הקטנת האספקה של נוזל למאייד לירידה בלחץ היניקה. תהליך האיוד יסתיים לפני סוף המאייד ומנקודה זו והלאה הגז יתחמם על אף הלחץ הנמוך. התוצאה – לחץ נמוך, הקטנת כושר הקירור והגדלת צריכת החשמל לטונה קירור. במדחסים הרמטיים וחצי הרמטיים, חוסר גז עלול לגרום לחימום יתר של המנוע מאחר וקירור המנוע נעשה על-ידי הגז הקר החוזר דרך המנוע למדחס.

5.4.8 טיפול בציוד-עזר (מנועים, משאבות, מאווררים וכו')

יש לבדוק אם המנועים פועלים בעומס מלא. מנועים גדולים מדי עלולים להיות פחות יעילים ולגרום להורדת כופל ההספק. יש לבדוק אם כדאי להחליף מנועים, או עדיף להוסיף קבלים לשיפור כופל ההספק.

5.5 בידוד

במערכת מרכזית קיימת צנרת מים קרים או חמים ותעלות לאוויר קר או חם. אם בידוד הצנרת או התעלות פגום, הדבר יגרום לאיבודי חום ניכרים ויחייב טיפול. אפשר לאמוד את סדר הגודל של האיבודים על-ידי מדידת הטמפרטורה של המים והאוויר בכניסה לצינור או לתעלה וביציאה מהם. למשל, אם במערכת מסוימת המים יוצאים מהמצנן שבחדר המכונות בטמפרטורה של 5°C , מגיעים ליחידת מפוח נחשון ב- 7°C , יוצאים מהנחשון ב- 13°C ומגיעים בחזרה למצנן ב- 14°C , יוצא שבמעגל השלם המים התחממו ב- 9°C (מ- 5°C עד ל- 14°C) אך רק 6°C נוצלו בצורה אפקטיבית (מ- 7°C עד 13°C) בתוך יחידת מפוח נחשון, ואילו 3°C – (דהיינו 33%) הם תוצאה מאיבוד חום דרך הבידוד.

פרק 6 – תוספת ציוד לחסכון באנרגיה

6.1 מקדם כופל ההספק

חברת החשמל דורשת, שכופל ההספק יהיה לא פחות מ-0.92. כופל הספק נמוך גורם לאיבודי אנרגיה לאורך קווי האספקה של חברת החשמל ולכן קונסים את הצרכן. ניתן לשפר את כופל ההספק על-ידי התקנת קבלים ושיפורים בתפעול המערכות.

6.2 שימוש באוויר צח במקום באוויר חוזר

יחידות פיזור אוויר יונקות את רוב האוויר למיזוג מתוך השטח הממוזג (דרך תעלת אוויר חוזר) בתוספת של כמות מינימאלית של אוויר צח, הדרוש מטעמי נוחות ובריאות. לרוב, המדפים המווסתים את כמויות האוויר והאוויר החוזר נקבעים בעת הפעלת המתקן ואין משנים אותם יותר. לפעמים, האוויר בחוץ קר יותר מאשר באזור הממוזג. לדוגמה, במקום שקיים עומס פנימי גדול, הנובע מאנשים או מצידוד, יתכן שתהיה דרישה לקרור אף על פי שקריר בחוץ. הוא הדין גם בבנין, שהתחמם במשך היום וטרם הספיק להתקרר בלילה כאשר כבר נעשה קר בחוץ. במקרים כאלו, אין יתרון בשימוש באוויר חוזר ורצוי להשתמש ב-100% אוויר צח.

קיים מכשור מיוחד למטרה זו והוא מודד את הטמפרטורה בחוץ ובפנים ופותח באופן אוטומטי את וסת האוויר הצח וסוגר את הווסת של אוויר חוזר.

יש לשים לב, שהכדאיות להשתמש ב-100% אוויר צח תלויה גם בלחות האוויר החיצוני. אם האוויר החיצוני מכיל יותר רטיבות מהאוויר הפנימי ה"חוזר", יחידת המיזוג תצטרך לעבות את הרטיבות המיותרת ולמעשה יגדל עומס הקירור.

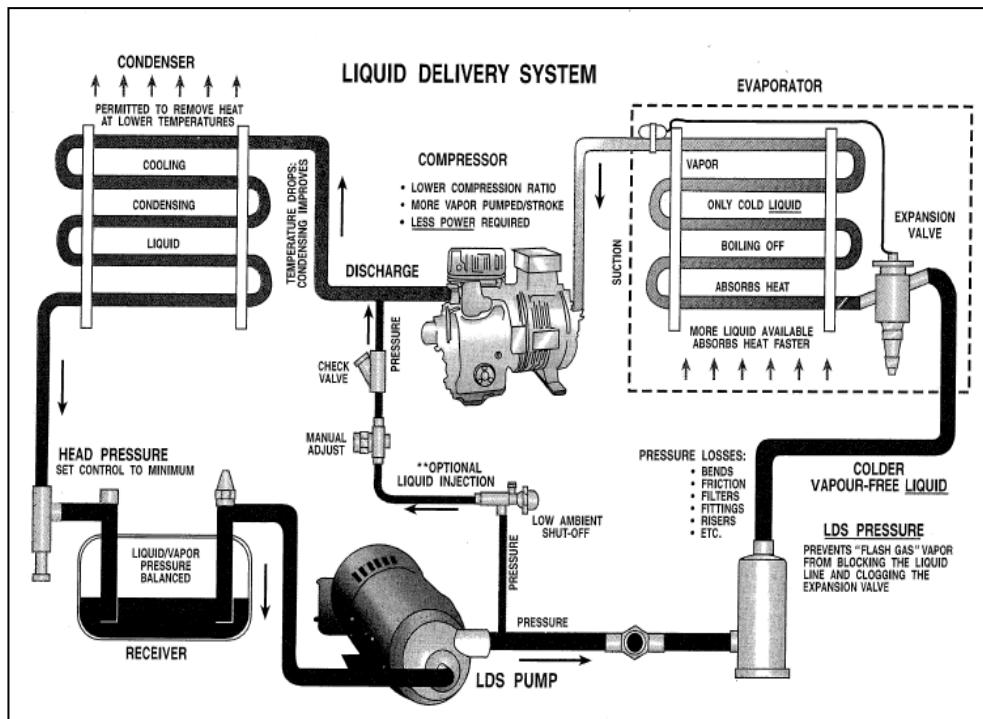
לפעמים, התוספת של עומס תהיה גדולה מהחסכון. כדי למנוע זאת יש להשתמש בפיקוד המודד את ה"אנטלפיה" של האוויר הצח והאוויר החוזר ולעבור ל-100% אוויר צח רק כשהרכב של הטמפרטורה והלחות מצדיק זאת.

יש לבדוק אם יש מקום ואפשרות להתקין מכשור כזה בבנין הספציפי. לא בכל מקום כדאי הדבר – למשל, בנין משרדים באיזור החוף המנוצל רק ביום. אין להניח שהיו מקרים רבים שבהם מקררים את הבניין כשקריר בחוץ.

מהמעבה, לשם חימום יחידות מפוח נחשון במשרדים. לפעמים אפשר, בעזרת מחליפי חום מתאימים, לקרר (או לחמם) את האוויר הצח הנכנס למכשירי האוויר על-ידי עודפי האוויר הקרים (או החמים) הנפלטים החוצה, אבל זה מחייב שיציאת האוויר המשומש תהיה מרוכזת ובקרבת המקום לכניסת אוויר צח.

6.5 שיפור נצילות במעגל הקירור

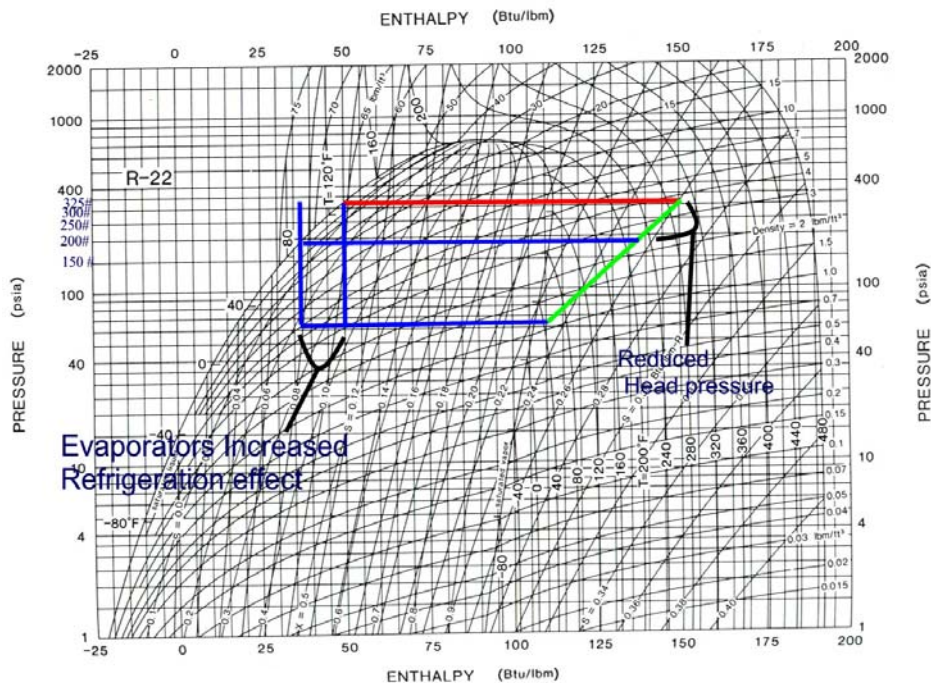
העובדה שמעגל הקירור מושפע מתנאים חיצוניים ומעלויות החשמל המאמירות, מחייב יתר התייחסות לשיפור נצילותם של מתקני קירור ומיזוג אוויר, תוך כדי הקטנת תצרוכת האנרגיה התפעולית שלהם.



שיטת LPA (Liquid Pressure Amplification) פותחה במגמה לשפר את אפיוני הביצוע של המתקן הישן והחדש כאחד, זאת באמצעות העלאת לחץ הקרר בקו הנוזל והזרקת כמות קטנה יחסית של נוזל מעובה לקו הדחיסה. הליך זה תורם להגדלה בפועל של שטח החלפת החום בסוללת העיבוי ולעלייה מהותית בניצולת סוללת המאייד עקב הפרשי לחץ גבוהים יחסית על בקר ההתפשטות.

ביישום השיטה ניתן לקבל מגוון יתרונות וביניהם :

- א. הפחתה כמעט מוחלטת של הבעות בקו הנוזל (Flash Gas) - גורם להקטנת נצילות סוללת המאייד).
- ב. הפרש לחצים גבוה יותר על בקר ההתפשטות (מאייד), אפקט גריעת החום גדל באותו שטח נתון של הסוללה וכתוצאה מכך גם אחוז גריעת הלחות.
- ג. שינוי מצב צבירה מהיר יותר של הקרר (מגז חם לנוזל) בסוללת העיבוי, אפקט פליטת החום גדל באותו שטח נתון של הסוללה (מאפשר הורדת לחצי הראש - נתון פרטני לכל מתקן).
- ד. ירידה בזמן עבודת המדחסים, שמשמעותו הקטנת הבלאי המואץ שלהם וירידה בתדירות ההתנעות (אימפידנס ההתנעה הראשונית נמוך וקצר יותר).
- ה. נצילות המתקן (C.O.P) עולה. המשמעות - יותר קירור בפחות כסף (הקטנת ההוצאות התפעוליות והתחזוקתיות).
- ו. הארכת תוחלת חיי המדחס.
- ז. החזר השקעה מהיר.



ללא Smart/Save

$$\text{COP} = \frac{H_2 - H_1}{H_3 - H_2} \quad \text{COP} = \frac{108 - 30}{125 - 108} = 4.5$$

כולל Smart/Save

$$\text{COP}^* = \frac{H_2^* - H_1^*}{H_3^* - H_2^*} \quad \text{COP}^* = \frac{108 - 30}{122 - 108} = 5.5$$

$$\underline{1.22} = 5.5 / 4.5 = \text{שיפור מקדם ההספק}$$

עם הפנים לעתיד

בעתיד הלא רחוק יגבר השימוש במערכות חוסכות אנרגיה ובאמצעים לקבלת תועלות נוספות. המגמה הרווחת בנושא היא גיבוש מערכות משולבות ליצירת אנרגיה, הנמצאות כבר היום בשימוש. הכוונה, בין היתר, למערכות ספיגה המופעלות בתוצר נלווה להפקת חשמל בעזרת גנראטור (קוגנרציה), במינימום עלות תפעולית. הקו המנחה הוא ניצול החום השירי של הגנראטור להפעלת מתקן מיזוג אוויר, ו/או לחימום מים להסקה או רחצה.

שיפור מתקני מיזוג אוויר ישנים נראה כמגמה ברחבי העולם. הוכח כי ניתן להשביח כמעט כל סוג של מתקן ולהביאו לרמות תפעול אופטימאליות ביחס למצבו הנתון, ובכך לחסוך עד כדי עשרות אחוזים בצריכת החשמל של מתקנים כאלו (לדוגמא, באמצעות מערכות LPA המיושמות במעגל התרמו-דינאמי).

בשנים האחרונות אנו עדים לשימוש במערכות סולריות כאמצעי גיבוי למערכות מיזוג אוויר. בשיטה זו, משלבים מערכות גריעת לחות נוזלית (דיסיקנטית) הבנויות על בסיס מלחים, אשר סופחים אליהם את הלחות היחסית באוויר החוזר, ובכך מורידים את העומס על המערכת. ראוי לציין, כי הנושא לא תפס תאוצה בישראל.

חלופה נוספת, הידועה מזה שנים, היא ניצול הרוח המצטברת במעטפת של מבנים רבי קומות, ליצירת אנרגיה חשמלית למיזוג אוויר או לשימושים שוטפים אחרים באותם מבנים. בשנים האחרונות אפשר לראות כי עולה השימוש בטורבינות רוח להפקת חשמל, בפרט באירופה. אבל דומה, שעדיין הבעיה המרכזית בנושא היא המחיר הגבוה של הקמת המתקנים, ובאופן אגירת האנרגיה בשעות שבהן היא רבה, וניצולה בזמנים שבהם הרוח אינה נושבת. לאחרונה, נחשפו בתערוכת איכות הסביבה טורבינות רוח קטנות יחסית, המיועדות להספקים נמוכים יחסית (5-1 Kw). על פניו נראה, כי הקטנת הטורבינה יכולה להוות פתרון מעניין.

יש הגורסים, כי ברוב המבנים הגבוהים יותקנו מערכות VAV משוכללות, ברמת נצילות גבוהה מזו הקיימת היום, ואינם רואים בעתיד מעבר לציוד המופעל במקורות אנרגיה חדשים. חיזוק לגישה זו אפשר למצוא בעובדה ששטח ההתקנה האפשרי של הקולטים במבנים גבוהים הינו קטן יחסית, ונתון זה כשלעצמו בולם כל מהפכה בנושא.

טכנולוגיה חדשה בהתהוות היא של **קולטי מראה שקופים**. אמנם שימוש גורף באנרגיה סולרית במתקני מיזוג אוויר לא צלח עד כה, בין השאר בשל משטחי הקליטה הענקיים שנדרשו לקליטת אנרגיית השמש. אולם אנו עדים כיום להתקדמות טכנולוגית בקצב מסחרר, עד כי נדמה לעיתים כי היא מקדימה את זמנה. אין לנו אלא להישאר אופטימיים ולקוות שאכן האפשרות לשינוי המיחל תתממש.

במצב הנתון, על היצרנים להמשיך ולשלב איכות גבוהה בעלות נמוכה במטרה לשרוד, שכן עלות נמוכה בלבד ללא איכות לא תחזיק מעמד לאורך זמן. אין לכך הצדקה בימים אלה, ובפרט לא על גב הלקוח.

פרק 7 – מעקב שוטף, מדידות ותוצאותיהן

7.1 מיכשור ומדידות

כדי לוודא שהמתקנים פועלים ביעילות מכסימלית ושלא ארעו תקלות מעין אלו שהוזכרו לעיל, רצוי לקיים מעקב שוטף ולשם כך יש לצייד את המיתקן במכשירי מדידה ולבדוק מעת לעת את כיוולם.

7.1.1 תרמוסטטים

רצוי לעיתים לבדוק אם התרמוסטטים מדייקים, או שמא שומרים על טמפרטורה יותר גבוהה או נמוכה מהדרוש. אם מתברר, שמאכלסי הבניין נוטים לשחק בתרמוסטטים ולהגזים בקביעת טמפרטורות, יש לשקול אפשרות של נעילתם.

7.1.2 מדחסים

יש להתקין מדי לחץ ביניקה ובדחיסה של המדחסים. יש למדוד את הלחצים אחת ליום, בשעה קבועה, ובעת שהמדחס פועל בעומס מלא. כמו כן, יש למדוד באותה עת את המתח והזרם החשמלי.

7.1.3 מדי מים ומדי לחץ

יש להתקין מדי מים ומדי לחץ במעגל מי עיבוי במעגל המים המצוננים, לקבוע ולרשום אחת לשבוע את קצב סחרור המים (מטרים מעוקבים לשעה) ואת מפלי המים במעבה, במצנן, במגדל הקירור ובצנרת החלוקה.

7.1.4 תרמומטרים במערכות מים

יש להתקין מדי חום בצנרת למדוד את טמפרטורת המים הנכנסים והיוצאים מהמעבה ואת טמפרטורת המים הנכנסים והיוצאים מהמצנן.

יש למדוד ולרשום טמפרטורות אלו אחת ליום בעת עומס מלא.

7.1.5 מדידת כמויות אוויר

רצוי למדוד אחת לחודש, בעזרת אנמומטר, אם מהירות יציאת אוויר מהמפזרים (DIFFUSERS). מספיקה בדיקה מדגמית של מפזר אחד או שניים לכל יחידת פיזור אוויר.

7.1.6 מדידת טמפרטורת אוויר

רצוי למדוד אחת לחודש את טמפרטורת האוויר הנכנס והיוצא למכשירי קירור האוויר השונים.

7.1.7 בדיקת המבערים

יש לרשום אחת לחודש את צריכת הדלק, טמפרטורת הגזים ואחוזי ה-CO₂. רצוי אף לעיתים קרובות יותר.

7.2 הסקת מסקנות מהמדידות

יש לערוך את כל המדידות הללו בצורת טבלאות מסודרות. עיון בטבלאות יגלה מיד אם קיים או מתפתח ליקוי מסויים, והדבר יאפשר איתור התקלה ומניעתה.

7.2.1 עלייה בלחץ הדחיסה במתקן עם מעבה מים

סיבות אפשריות:

- א. הקטנת כמות מי המעבה בסחרור, הנגרמת על-ידי סתימה במרססים, או סתימה במסנן המים של המגדל, קלקול במשאבה וכו'. קריאת מד המים תוודא מיד אם זו הסיבה.
- ב. התהוות שכבת אבנית בצינורות המעבה: יש לבדוק את מפל הלחץ של המים דרך המעבה. אימות סופי של השערה זו כרוך בפרוק מכסה המעבה ובדיקת הצינורות.
- ג. פעולה לא תקינה של מגדל הקירור, כגון קריעת רצועת מפוח. במקרה כזה התרמומטר בכניסה למעבה יראה עליה לא נורמאלית בטמפרטורת מי העיבוי.

7.2.2 ירידה בלחץ היניקה

במתקן התפשטות ישירה. סיבות אפשריות הן :

- ד. חוסר גז.
- ה. סתימת מסנן האוויר.
- ו. קפיאת נחשון הקירור.
- ז. תקלה במפוח.
- ח. תקלה בשסתום התפשטות או בצינור הקפילארי.

במתקן עם מאייד מים סיבות אפשריות הן :

- א. חוסר גז.
- ב. הקטנת זרימת מי סחרור בגלל תקלה במשאבה, או סתימה כלשהי (לוודאי על-ידי קריאת מד מים). במקרה כזה טמפרטורת המים היוצאים מהמצנן (CHILLER) תהיה נמוכה.
- ג. אבנית או לכלוך במצנן המים – לעיתים רחוקות כשמדובר במעגל מים סגור.
- ד. קירור מים לטמפרטורה נמוכה מדי: תקלה בתרמוסטט או שינוי הכיוון.

7.2.3 עלייה בזרם החשמל

סיבות אפשריות הן :

- א. עלייה בלחץ הדחיסה (ראה למעלה).
- ב. עלייה בלחץ היניקה – עליה בטמפרטורה של מי הקירור.

7.2.4 צימצום זרימת האוויר

סיבות אפשריות הן :

- א. סתימת מסננים.
 - ב. תקלה במפוח.
 - ג. וסתי אוויר סגורים.
- כל חריג בקריאות טעון בדיקה מיידית, אלא אם כן הוא תוצאה משינוי במזג האוויר. למשל, מזג אוויר חם יעלה את טמפרטורת העיבוי.

פרק 8 – צינון אוויר

חרף העובדה שחוברת זו עוסקת במיזוג אוויר במובנו המקובל, רצוי להתייחס גם לצינון אוויר. שכן, באתרים ובתנאי אוויר ספציפיים ניתן להשתמש במצננים במקום או בתוספת למזגנים ועל ידי כך לחסוך אנרגיה וגם לחסוך בהשקעה בציוד.

8.1 המונח "צינון אוויר"

משתמשים במונח "צינון" במקום "קירור", כשקרור האוויר נעשה על ידי איוד מים ישירות לתוך האוויר, בניגוד למונח "מיזוג אוויר" שמשמעותו קירור המבוצע על-ידי מערכת קירור כפי המתואר בחוברת זו, שבה האוויר מתקרר כתוצאה ממגע בגוף או בחומר המקורר – לרוב נחשון קירור.

8.2 עקרון פעולת מצנן

בפרק 2 הוסבר, שנוזל המתאייד קולט את החום הכמוס הדרוש לתהליך האיוד, מתוך החומר הנמצא במגע עם המאייד ועל-ידי כך גורם לקירור החומר. הוא הדין גם כשמים מתאדים ישירות לתוך אוויר. החומר המתקרר במקרה זה הוא האוויר וגם המים עצמם. העובדה, שאיוד מים גורם לקרור אוויר, הייתה ידועה ונוצלה כבר לפני אלפי שנים והמכשירים המודרניים, הנקראים "מצננים", אינם שונים בעקרון מהמצאות קדומות, כגון תליית מחצלת רטובה בחלון בכיוון הרוח השרבי. עיקר השוני הוא שהיום נעזרים במפוח מופעל על-ידי מנוע חשמלי כדי להזרים את האוויר דרך המצע הרטוב.

8.3 מבנה המצנן

המצנן הרגיל בנוי בצורת קופסה, כששלוש מדפנותיה האנכיות עשויות מתריסים להם צמודים מצעי איוד. בתוך הקופסה מורכבים מפוח ומשאבה קטנה. המפוח יונק אוויר מבחוץ דרך המצעים הרטובים ופולט אותו דרך פתח בדופן הרביעי לתוך החלל המצונן. תחתית הקופסה משמשת כבריכת מים והמשאבה מזרימה את המים מהבריכה ומפזרת אותם לאורך הקצה העליון של המצעים והם מטפטפים למטה ומרטיבים את כל חומר המצע. מאחר שחלק מהמים מתאדים, יש צורך למלא את הבריכה ברציפות. לשם כך מחברים את הבריכה לרשת המים העירונית דרך שסתום, המופעל על-ידי מצוף והוא שומר על מפלס מי המים בבריכה.

בתהליך האיוד מתאדים רק המים הטהורים, ואילו המינרלים שבמים נשארים במצנן ובמשך הזמן נוטים לסתום את מצעי האיוד והמשאבה. אפשר להקטין תופעה זו על-ידי ניקוז מתמיד של כמות קטנה של מים מהבריכה ועל ידי כך למנוע ריכוז גדול מדי של מינרלים. בנוסף לזאת, חייבים לבדוק את המצעים מעת לעת, לנקותם או להחליפם.

הקופסה של המצנן עשויה בדרך כלל מפח מגולוון, אך הפח נוטה להחליד במשך הזמן. ניתן לבנות ציוד באיכות יותר גבוהה מחומרים בלתי מחלידים כגון פיברגלס. במתקנים גדולים בונים את ה"קופסה" מחומרי בנין, כגון בטון.

גם את המצעים אפשר לייצר מחומרים עמידים יותר או פחות, כגון שבבי עץ, סיבים טבעיים, סיבים סינתטיים, בטון עם סיבים וכו'. יש גם מצננים תעשייתיים, שבהם ממלאים את החלל במים מרוססים שהוזרמו בלחץ על-ידי משאבה דרך פיות ריסוס. המים המרוססים מתאדים ישירות לאוויר ללא עזרת מצעים.

8.4 מידת הקירור הניתן להשיג במצנן

מידת הקירור תלויה בטמפרטורה וברטיבות היחסית של האוויר הנכנס למצנן, וביעילותו.

הקירור מתהווה לאורך הקו של התרמומטר הלח, בלוח פסיכומטרי. ככל שהאוויר סופג יותר מים כן יורדת הטמפרטורה, עד שהאוויר מגיע לרוויה. למעשה, אין מגיעים אף פעם לרוויה. מידת ההתקרבות לרוויה תלויה ביעילות המצנן.

להלן, שלוש דוגמאות הנותנות מושג על מידת הקירור האפשרית בתנאים טיפוסיים הקיימים בארץ.

8.4.1 איזור מדברי -

נניח שתנאי האוויר הם: תרמומטר יבש - 40°C , תרמומטר לח - 22°C , לחות יחסית 20%. במצנן רגיל, סביר להניח שהאוויר יתקרר בערך ב-85% מההפרש בין התרמומטר היבש והלח, זאת אומרת שהאוויר יצא מהמצנן בטמפרטורה של כ- 25°C ובלחות יחסית של כ-78% (המספרים לקוחים מלוח פסיכומטרי). האוויר הזה נכנס לחדר המצונן ושם הוא סופג את החום, החודר דרך מעטה החדר, כתוצאה מקרינה ומוליכות (כפי שהוסבר בפרק 1). מידת ההתחממות תלויה בכמות החום החודר ובכמות האוויר המצונן. נניח שהאוויר יתחמם

ב- 3°C והטמפרטורה בחדר תתאזן ב- 28°C , הלחות היחסית תרד מ-78% ל-65% בו בזמן שבחוץ הטמפרטורה היא 40°C והלחות היחסית 20%. ברור, שתנאים אלו נוחים בהרבה מתנאי החוץ וסבילים בהחלט באזורים מדבריים, אף כי הם חורגים מהתנאים המומלצים לנוחיות בני אדם באזורים אחרים בארץ.

8.4.2 איזור החוף, השעה 3 אחה"צ -

תנאי קיץ טיפוסיים הם: תרמומטר יבש 35°C , תרמומטר לח 25.5°C , לחות יחסית 48%. אם האוויר מתקרר ב-85% מההפרש בין "יבש" ו"רטוב" יצא האוויר מהמצנן בטמפרטורה של 27°C ובלחות יחסית של 88%. אם האוויר מתחמם עד ל- 32°C , תהיה הלחות היחסית 66%.

8.4.3 איזור החוף בשעות הבוקר או לפנות ערב -

תנאי קיץ טיפוסיים הם: תרמומטר 31, תרמומטר לח 25.5°C , לחות יחסית 65%. אן האוויר מתקרר ב-85% מההפרש כנ"ל, יצא האוויר מהמצנן בטמפרטורה של 26.3°C ובלחות של 92%. אם אוויר זה יתחמם עד 30°C תהיה הלחות היחסית 75%. משתי הדוגמאות האחרונות מובן שצינון לא יביא כל הקלה בתנאי אוויר כאלה. הלחות היחסית תעלה בהרבה והטמפרטורה תרד רק במעט ולא יורגש שיפור בנחות. יש לציין, שתנאי פנים רגילים ומקובלים במתקני מיזוג אוויר באזור החוף הם 24°C בתרמומטר יבש ו-55% לחות יחסית.

8.5 ההבדלים הבסיסיים בין מיתקני צינון ומיתקני קירור

8.5.1 במיתקני צינון משתמשים באנרגיה מועטת בלבד וזאת אך ורק להפעלת מפוח ומשאבת מים קטנה. לעומת זאת, מיתקני מיזוג אוויר צורכים כמויות משמעותיות מאוד של אנרגיה (כפי שהוסבר לפני כן). כאשר ניתן להשתמש בצינון במקום במיזוג אוויר, החיסכון באנרגיה שיושג עשוי להגיע ל-80%. יש לקזז את צריכת המים, אבל אין היא משמעותית בדרך כלל, פרט למקומות שבהם המים יקרים מאוד (למשל אם מקורם ממכון התפלה).

8.5.2 מיתקני צינון זולים ממיתקני מיזוג אוויר.

8.5.3 כמויות האוויר במחזור גדולות פי כמה במיתקני צינון. דבר זה מחייב שימוש בתעלות גדולות מאוד (במיתקן מרכזי), פתחי אוויר גדולים, מאווררים גדולים וכו', כל אלה אינם מתאימים לשימוש במיתקני מיזוג אוויר. לכן לא ניתן לשלב בקלות מיתקן צינון עם מיתקני מיזוג אוויר.

8.5.4 במיתקני צינון משתמשים ב-100% אוויר חוץ ואוויר זה צריך לצאת מהבנין ללא התנגדות. הדבר מחייב הכנת פתחי-יציאה גדולים או השארת חלונות פתוחים.

ברור, שאין טעם לדאוג לאטימת הבנין כאשר משתמשים במיתקני צינון, כפי שנעשה במיתקני אוויר המנצלים מינימום של אוויר צח הנדרש מטעמי בריאות ונוחות.

8.5.5 במיתקני צינון קיימת תנועת אוויר חזקה בחלל המצונן בגלל הכמויות הגדולות של אוויר שבמחזור. עובדה זו מוסיפה להרגשת הקרירות ומקנה לאדם הרגשת נוחות, גם בתנאי אוויר קשים יותר. במיזוג אוויר, תנועה חזקה של אוויר נחשבת בלתי רצויה.

8.5.6 בדרך כלל, אין זה משתלם להשקיע הרבה בבידוד בנין המקורר על-ידי צינון.

8.5.7 במצנן, תלויה מידת הקירור והלחות היחסית המתקבלת בתנאי האוויר בחוץ ולכן האפשרויות של ויסות ושמירה על תנאים קבועים בשטח הממוזג מוגבלות ביותר, מה גם שאין כן במיתקני מיזוג אוויר. באיזורים, שאינם יבשים ביותר, נוטה צינון לגרום לתנאים יותר לחים מהרצוי מטעמי בריאות ונוחיות, אולם באיזורים יבשים מתקבלים תנאים די נוחים והחיסכון באנרגיה הוא רב. לעומת זאת, באיזורים יבשים, מזגנים עלולים לגרום לתנאי חוסר רטיבות, אלא אם כן מדובר במיתקן הכולל סידור לתוספת לחות.

8.6 מתי כדאי להשתמש במצננים?

8.6.1 באיזורים יבשים ניתן להשיג תנאים משביעי רצון על-ידי שימוש במצננים. עובדה היא, שהשימוש במצננים נפוץ ביותר באילת ובאיזורים בעלי אקלים דומה. החסכון באנרגיה הוא רב. עם זאת, התנאים פחות נוחים ויציבים מאשר אלו הנוצרים על-ידי מיזוג אוויר. ולכן, בתי מלון מפוארים ובתים פרטיים אף באילת מעדיפים להשתמש במזגנים.

8.6.2 לעיתים, יש מקום לשימוש במצננים בתעשיות שונות כאשר הן מצויות באיזורים לחים, למשל בתעשייה שתהליך הייצור בה מחייב לחות גבוהה, או בתעשייה שבה קיימים אזורים חמים מאד (למשל, בקרבת תנורים או דוודים). לעיתים, אפשר להקל על הפועלים, אשר חייבים לעבוד במקומות אלה, על-ידי הצבת מצנן המזרים אוויר מצונן ישירות לשטח החם (צינון נקודתי).

נספח 1

יחידות מדה

0.25 קילו קלוריות	=	1 B.T.U
0.86 = BTU/hr 3.4 קילו-קלוריות /שעה	=	1 ואט
3,000 = BTU/hr 12,000 קילו-קלוריות /שעה	=	1 טונה קרור
30.48 ס"מ	=	1 רגל (FT)
1.7 מ"ק/שעה	=	1 C.F.M (רגל מעוקב לדקה)
14 ליברות לאינטש מרובע = 1 ק"ג/סמ"ר	=	1 אטמוספירה
453 גרם	=	1 ליברה
3.785 ליטר	=	1 גלון אמריקאי
0°c	=	32°f
100°c	=	212°f
-17.2°c	=	1°f

נוסחת ההמרה מצלסיוס לפרנהייט היא : $TF = TC \times 1.8 + 32$

נוסחת ההמרה מפרנהייט לצלסיוס היא : $TC = (TF - 32) \times 5/9$

נספח 2

"טמפרטורה יבשה" (תרמומטר יבש) - טמפרטורה הנמדדת על-ידי תרמומטר רגיל, כספית, כהל או מגע.

"טמפרטורה לחה" (תרמומטר לח) - טמפרטורה לחה נמדדת באמצעות תרמומטר שהרגש שלו עטוף במטלית רטובה שהנמצא בזרימת אוויר במהירות של בין 500 עד 2000 רגל/דקה (כ-2.5 עד 10 מטר/שניה).

מדידת הטמפרטורה הלחה נעשית על-ידי פסיכומטר סיבובי או תרמומטר שעה. מנתוני קריאה של תרמומטר יבש ולח ניתן לקבל את הלחות היחסית.

נספח 3
תקנות מקורות האנרגיה
(יעילות אנרגטית, סימון אנרגטי ודירוג אנרגטי במזגנים)
התשס"ד – 2004

בתוקף סמכותי לפי סעיף 3 לחוק מקורות אנרגיה, התש"ן-1989¹, ובאישור ועדת הכלכלה של הכנסת, אני מתקין תקנות אלה:

הגדרות 1. בתקנות אלה -

"דירוג אנרגטי"

רמת היעילות האנרגטית של מזגן לעומת היעילות האנרגטית המזערית כאמור בתקנה 2(א), המבוטאת באותיות הלטיניות G, הנמוכה ביותר עד A, הגבוהה ביותר;

"התקן"

תקן ישראלי ת"י 994, חלק 1 - מזגני אוויר: דרישות בטיחות ופעולה², המופקד לעיון הציבור במשרדי מכון התקנים הישראלי, רחוב חיים לבנון 42, תל-אביב, ובמשרדי האגף לניהול משאבי תשתית, משרד התשתיות הלאומיות, רחוב יפו 234, ירושלים;

"מזגן"

מזגן אוויר כמשמעותו בתקן, מסוג חלון או מסוג מפוצל או מסוג מתועל;

"מזגן מסוג חלון"

מזגן המורכב כיחידה אחת, המיועד להתקנה בחלון או בקיר, או מזגן נייד שפיזור האוויר ממנו נעשה ישירות לאזור הממוזג או המחומם;

"מזגן מסוג מפוצל"

מזגן המורכב משתי יחידות או יותר, כשיחידה אחת לפחות מצויה מחוץ לאזור

¹ ס"ח התש"ן, עמ' 28.
² י"פ התשנ"ז, עמ' 4650.

הממוזג, ושפיזור האוויר נעשה ישירות
לאזור הממוזג או המחומם ;
"מזגן מסוג מתועל"
מזגן, המורכב מיחידה אחת או יותר
שפיזור האוויר לאזורים המקוררים או
המחוממים נעשה באמצעות תעלות ;
"מעבדה מאושרת"
כשמשמעותה בסעיף 12 לחוק התקנים,
התשי"ג-1953;³
"מקדם היעילות
"(COP)
כמשמעותו בתקן ;
"שיווק מרחוק"
כהגדרתו בסעיף 14 ג לחוק הגנת הצרכן,
התשמ"א-1981.⁴

- חובת יעילות**
אנרגטית מזערית
2. (א) לא ייבא אדם, לא ימכור, לא ישווק מזגן
ולא יציגו או אמצעי המדמה אותו לראווה
בחנויות, בתצוגות, בתערוכות ובמקומות
כיוצא באלה, אלא אם כן המזגן עומד
בדרישות ליעילות אנרגטית, כמפורט
בתוספת הראשונה, ובתקופות כאמור בה.
- (ב) בדיקה לקביעת עמידת מזגן בתנאי היעילות
האנרגטית, כמפורט בתקנת משנה (א),
תיעשה במעבדה מאושרת בלבד, במועדים
שנקבעו על פי התקן לביצוע בדיקות, ועל פי
כל דין.
- (ג) יצרן או יבואן של המזגן יגיש לממונה את
תוצאות כל בדיקה כאמור בתקנת משנה
(ב), תוך 30 ימים מיום ביצועה, ואם
תוצאות הבדיקה מחייבות שינוי בתווית
האמורה בתקנה 3, לפי פרטיה שבתקנה 4,
יצרף את הצעתו לשינוי.

³ ס"ח התשי"ג, עמ' 30; התשל"א, עמ' 22; התשל"ט, עמ' 34.
⁴ ס"ח התשמ"א, עמ' 248, ס"ח התשנ"ח עמ' 298, בו הוסף ס 14 לחוק הגנת הצרכן.

3. חובת סימון אנרגטי

לא יציג אדם מזגן או תמונה של מזגן, ציור או אמצעי המדמה מזגן, בחנות, בתצוגה, בתערוכה או במקום כיוצא באלה, באינטרנט או בכל אמצעי שיווק אחר, למעט שיווק מרחוק, אלא אם כן הודבקה עליו או הוצגה בסמוך אליו או פרסם לידו, במקום בולט לעין, תווית אנרגיה לפי הדוגמה והמפרט שבתוספת השניה (להלן - התווית), התואמת את האישור האחרון שנתן הממונה לאותו מזגן על פי תקנה 6, ובשיווק מרחוק, למעט באינטרנט - פורסמו ליד תמונת המזגן או תיאורו נתוני ה-COP והדירוג האנרגטי.

4. פרטי התווית

- הפרטים שיופיעו על התווית לפי תקנה 3 יהיו:
- (1) שם היצרן המקורי;
 - (2) שם היבואן;
 - (3) דגם המזגן וסוגו;
 - (4) דירוג המזגן לפי תקנה 5, על בסיס מקדם היעילות COP שנמדד בקירור;
 - (5) צריכת החשמל בשעת עבודה רצופה, בקירור וחימום (בקילוואט-שעה);
 - (6) מקדם היעילות COP בקירור;
 - (7) תפוקת הקור והחום בקילוואט;
 - (8) סימן תנאי אקלים (T) שהמזגן מיועד לפעול בהם, כמפורט בתקן;
 - (9) מקדם היעילות COP המזערי לפי תקנה 2;
 - (10) שנת הפקת התווית בתוך הסימן שבפינה הימנית התחתונה של התווית, כפי שצוין בתוספת הראשונה;
 - (11) המילים "בתוקף עד..." תוך ציון תאריך התוקף לפי התוספת השלישית.

5. דירוג אנרגטי של A-G

- (א) הממונה יקבע דירוג אנרגטי של מזגן על סמך תוצאות שהוגשו לו לפי תקנה 2(ג), בהתאם

המזגן

- לטבלה שבתוספת השלישית.
- (ב) הממונה יעדכן את הדירוג, לפי הטבלה שבתוספת השלישית, או לפי תוצאות של בדיקות נוספות שנערכו על פי תקנה 2(ב).
- (ג) על הצורך לבצע עדכון התוויות יודיע הממונה בשני עיתונים יומיים, לא יאוחר מ-60 ימים לפני מועד כניסת העדכון לתוקף.

- אישור התווית** 6. הממונה יאשר את התווית, לאחר שביצע את הבדיקה האמורה בתקנה 5, תוך 15 ימים מיום הגשת המסמכים לפי תקנה 2 (ג); ראה הממונה, על סמך תוצאות הבדיקה האמורה בתקנה 5, שאין לאשר את התווית, ישלח הודעה על כך תוך המועד האמור לעיל, ליצרן או ליבואן אשר הגיש את התווית, בצירוף נימוקיו.
- תחילה** 7. תחילתן של תקנות אלה ביום כ' בטבת התשס"ה 1) בינואר 2005).
- ביטול** 8. תקנות מקורות אנרגיה (יעילות אנרגטית וסימון אנרגטי במזגנים), התשס"א - 2000⁵ (להלן – התקנות המקוריות) – בטלות.
- הוראות מעבר** 9. על אף האמור בתקנה 7 לעיל, יהיה מותר, עד לא יאוחר מיום 30.4.05, לשווק ולמכור מזגן אשר אינו עומד בהוראות תקנה 2 לעיל, וזאת בהתקיים שני התנאים המצטברים כדלקמן:
- (1) המזגן עומד בדרישות היעילות המינימלית שבתקנות המקוריות ערב כניסתן של תקנות אלה לתוקף;

⁵ ק"ת התשס"א, עמ' 201; התשס"ד, עמ' 102.

(2) המזגן יוצר או שוחרר מהמכס לא יאוחר

מיום 31.12.04.

והוכחת העמידה בתנאים המפורטים לעיל תהיה על
המשווק או על המוכר, לפי העניין.