

המשרד להגנת הסביבה



الوزارة لحماية البيئة
Israel Ministry of Environmental Protection



מדינת ישראל



חלופות לגזי קירור

הפוגעים באקלים (גזי HFC)

במערכות אקלום וקירור

מדריך לתעשייה ולמסחר

דצמבר 2023



העבודה מתמקדת בחלופות המרכזיות והנפוצות ביותר למערכות קירור ואקלום.
ניתן לקרוא על חלופות נוספות ולהתעדכן בפיתוחים חדשים במקורות המצוינים בגוף המסמך.

כתיבה ועריכה:

המשרד להגנת הסביבה – ד"ר נעמה ולד, ד"ר גיל פרואקטור, ד"ר ג'ניה גוטמן
חברת אקוטריידרס – רפי סילוק, אברי שכטר, רון קמרה



תוכן

מבוא 4

מבנה המסמך 7

מגזרים במיקוד 7

סוגי חלופות 8

שיקולים מרכזיים בבחירת חלופה 8

סקירת חלופות 9

1. מערכות אקלום (מיזוג אוויר) 11

1.1 פתרונות קבע 11

1.2 פתרונות ביניים 13

1.3 פתרונות משלימים 17

2. מערכות קירור 18

2.1 פתרונות קבע 19

2.2 פתרונות ביניים 22

2.3 פתרונות משלימים 23

טבלאות

טבלה 1 – לוח זמנים להגבלה ולהפחתה של יבוא וצריכה של HFCs על פי תיקון קיגאלי 5

טבלה 2 – דירוג בטיחות לפי דליקות ורעילות 8

טבלה 3 – טבלה מרכזת, חלופות למערכות אקלום וקירור 9

טבלה 4 – מערכות אקלום, התפלגות ייבוא קררים בשנת 2021 11

טבלה 5 – סיכום מערכות אקלום: פתרונות קבע 13

טבלה 6 – סיכום מערכות אקלום: פתרונות ביניים 16

טבלה 7 – מערכות קירור מסחרי, התפלגות ייבוא קררים בשנת 2021 18

טבלה 8 – סיכום חלופות מערכות קירור מסחרי - פתרונות קבע 21

טבלה 9 – סיכום פתרונות ביניים למערכות קירור מסחרי והובלה בקירור 23

תרשימים

תרשים 1: אומדן פילוח נתונים של צריכת הגזים בשנת 2022 לפי מגזר 7



מבוא

פרוטוקול מונטריאול הוא הסכם גלובאלי מקיף אשר נחתם בשנת 1987 ונועד להגביל ולעצור את השימוש בגזים הפוגעים באוזון, ובהם גזי קירור ("להלן קררים") מסוג CFC ו-HCFC.

בעקבות יישום ההסכם החליפו בהדרגה קררים מקבוצת HFC את השימוש בשתי הקבוצות הקודמות. אולם מאחר שגזי HFC הם גזי חממה עוצמתיים מאוד, פי שלושה סדרי גודל ויותר מפחמן דו חמצני, עם החרפת משבר האקלים התמקדו מדינות העולם בגיבוש פתרון לטיפול בבעיה הסביבתית שנוצרה. תיקון קיגאלי לפרוטוקול מונטריאול נוסף בשנת 2016, ומחייב הפחתה הדרגתית בייצור גזי HFC ושימוש בהם.

על מנת לגייס מאמץ גלובאלי של כל המדינות, נקבעו במסגרת ההסכם סנקציות חמורות על מדינות שלא יישמו את מתווה ההפחתה בהתאם לכללים שנקבעו.

ההסכם הוביל למאמץ עולמי מוכוון רגולציה ומבוסס על השקעות ופיתוחים טכנולוגיים רבים, לפיתוח ומסחור של קררים ירוקים חלופיים לגזי HFC.

בשנת 2020 אישרה הכנסת תקנות של המשרד להגנת הסביבה, ואלה קובעות בין השאר מתווה הפחתה בגזי הקירור אשר יאפשר לישראל ליישם את מדרגות ההפחתה של ההסכם הגלובאלי. אולם בשל עיכובים בהיערכות המשק, בנובמבר 2023 תוקן מתווה ההפחתה בתקנות¹ כפי שמוצג בטבלה 1.



1 תקנות החומרים המסוכנים (יישום פרוטוקול מונטריאול בעניין חומרים הפוגעים בשכבת האוזון), התשפ"ד-2023



טבלה 1 - לוח זמנים להגבלה ולהפחתה של יבוא וצריכה של HFCs על פי תיקון קיגאלי

אחוז הפחתה (מכסה לאומית בטונות שווה ערך פחמן דו-חמצני)

שנה	תיקון תשפ"א-2020	תיקון תשפ"ד-2023 ²	תיקון תשפ"ד-2023 + הסדרת העיסוק במקצועות הקירור ומיזוג האוויר ³
2011-2013	ממוצע בשנת הבסיס (6,537,560)	ממוצע בשנת הבסיס (6,537,560)	ממוצע בשנת הבסיס (6,537,560)
2022	10% (5,884,000)	10% (5,884,000)	10% (5,884,000)
2024	40% (3,923,000)		
2025		40% (3,923,000)	15% (5,557,000)
2026			25% (4,903,000)
2027			40% (3,922,000)
2028			55% (2,941,000)
2029	70% (1,961,000)	70% (1,961,000)	70% (1,961,000)
2034	80% (1,308,000)	80% (1,308,000)	80% (1,308,000)
2036	85% (981,000)	85% (981,000)	85% (981,000)

יישום מתווה ההפחתה בצריכת גזי הקירור דורש תוכנית יישום לאומית מקיפה אשר תאפשר לשוק להיערך ולבצע את המעבר לשימוש בחלופות דלות פחמן קיימות ובחלופות שבפיתוח. כחלק מעבודת המשרד להגנת הסביבה, זוהו שני חסמים מהותיים: (1) חוסר מודעות להשלכות תיקון קיגאלי על היכולת לרכוש גזי קירור מסוג HFC; (2) חוסר מודעות והיעדר מידע זמין ונגיש על החלופות הזמינות, השיקולים לבחירתן, והתאמתן לארגונים.

מסמך זה נועד להנגיש את המידע הרלוונטי ולסייע בהגברת המודעות בשוק, בדגש על המגזרים המסחרי

2 המתווה המצוי בתוקף נכון לנובמבר 2023.

3 מתווה זה יקבל תוקף עם פרסומה של הודעה בדבר חקיקת חוק הסדרת העיסוק בעבודה במערכת קירור או מיזוג אוויר ובלבד שההודעה פורסמה עד 31 בדצמבר 2024.



והתעשייתי כצרכנים עיקריים של גזי הקירור, לחלופות הקיימות תוך מתן כלים ליישומן. המסמך נשען על המידע בספרות הזמינה ועל הניסיון שהצטבר בקרב גופים שונים ובהם:

- מחקרים על גזי קירור חלופיים הנמצאים בשלבים שונים של פיתוח ורמת חדירה לשוק בעבור הנציבות האירופית⁴, פרסומי EPA⁵ ובעבור UNEP⁶.
- דוחות סקירה בין-לאומיים על שינויי מדיניות בעולם בדבר גזי קירור והפחתת השימוש בהם.
- בחינת סל המוצרים של יצרנים מובילים בעולם, כגון: Trane, York, Daikin, Carrier, Copland MITSUBISHI, LG ועוד.
- שיחות עם יבואנים וקבלנים ובהם: התאחדות קבלני מיזוג אוויר, דיין מוצרי קירור, גל-שר (מיזוג אוויר), אלטרץ-אינרה גז, קור-עז, אקלימטיק, קירור חשמלי מישה, ואחרים.
- לימוד תוכניות יישום של המגזר העסקי אשר החל להטמיע את השינוי.

מאחר שמדובר במסמך המסכם ומנגיש מידע קיים, ישמח המשרד להגנת הסביבה לקבל חוות דעת מהמגזר העסקי ולהוסיף ולדייק ככל שנדרש. אפשר להגיש התייחסות והצעות לד"ר נעמה ולד במשרד להגנת הסביבה, במייל: naamawa@sviva.gov.il.

4 [ריכוז המידע בנציבות האיחוד האירופי](#)

5 [ריכוז המידע תחת תוכנית SNAP של ה-EPA](#)

6 [UNEP Fact sheets](#)



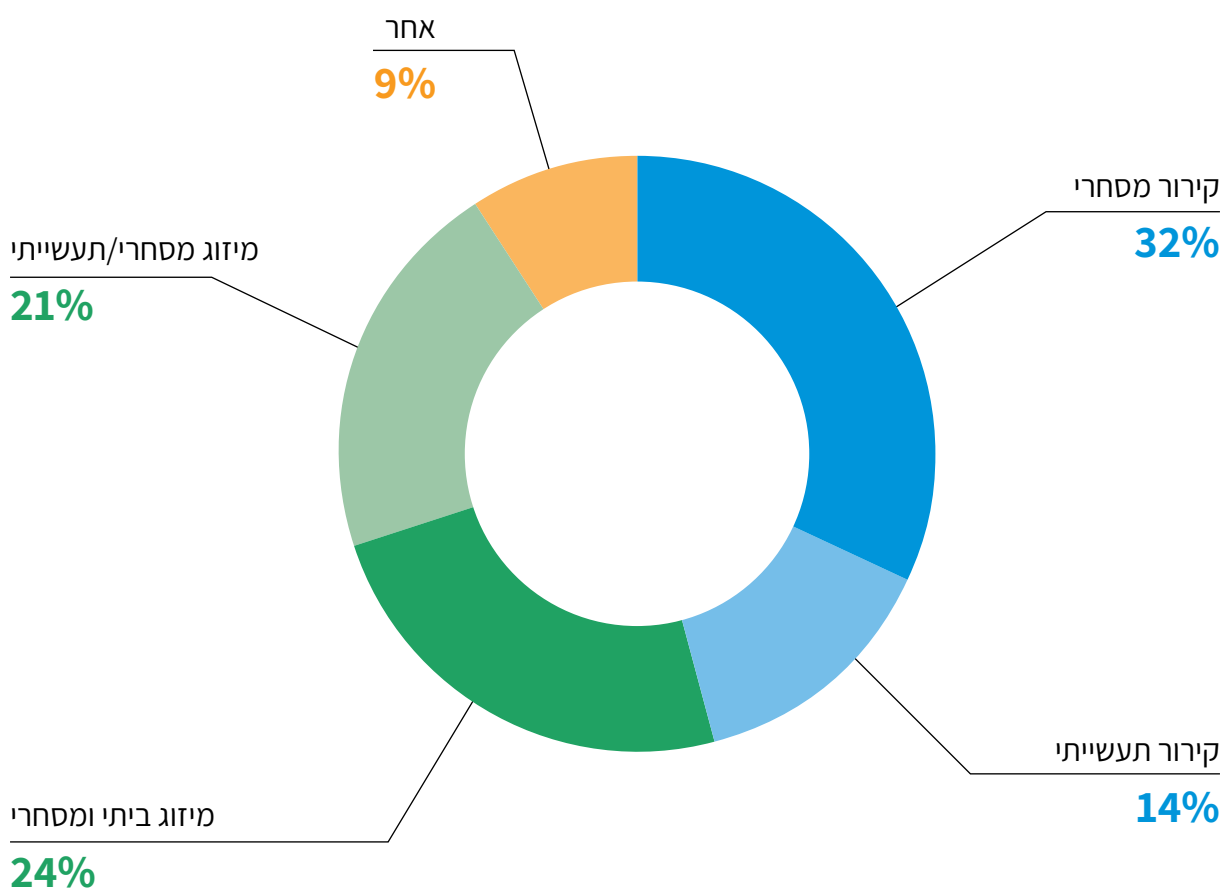
מבנה המסמך

המסמך מכיל מידע על חלופות מרכזיות בעלות פוטנציאל התחממות גלובלית (GWP - Global Warming Potential) נמוך במידה ניכרת מהמצוי בשימוש כיום, בחלוקה על פי סוג המערכת וסוג החלופה, כמתואר להלן:

מגזרים במיקוד

במדינת ישראל אין ייצור של גזי קירור ועל כן כלל הצריכה נשענת על ייבוא גזים אלו. עיקר הצריכה היא לטובת קירור במערכות בינוניות וגדולות (במגזר הקמעונאי ובתעשייה), ואקלום (מיזוג-אוויר) במערכות קטנות ובינוניות⁷:

תרשים 1: אומדן פילוח הנתונים של צריכת הגזים בשנת 2022 לפי מגזר



בבחינת החלופות יש להסתכל על החלופות המתאימות לצורכי כל מגזר. מסמך זה מתמקד במגזרי המסחר והתעשייה.

7 מבוסס על נתוני היבוא המתקבלים ממשרד הכלכלה ופילוח על בסיס הערכות מומחים ונתוני UNFCCC. אחר: קירור ביתי, מערכות מיזוג ניידות, מערכות קירור ניידות, משאפים וכו'.



סוגי חלופות

החלופות נחלקות לשלושה סוגים:

1. פתרונות קבע לטווח הארוך: מעבר למערכות חדשות המבוססות על קרר ידידותי לא מפקח⁸ או קרר מפקח בעל מקדם GWP נמוך מאוד.
2. פתרונות ביניים: מעבר לקרר מפקח עם GWP גבוה יחסית, אך נמוך מהקרר הקיים במידה ניכרת. פתרון זה מאפשר דירוג ודחייה של הצורך בהחלפת מערכות, אך אינו מונע את הצורך להחליף את המערכת בטווח הארוך.
3. פתרונות משלימים: הקטנת צריכה ויבוא של קררים לתפעול מערכות קיימות, המאפשרות להאריך את זמן השימוש במערכות אלו.

שיקולים מרכזיים בבחירת חלופה

זמינות מסחרית: האם החלופה רלוונטית בארץ והאם עלותה סבירה.
אופן המעבר: הסבת מערכות קיימות לקרר חדש או החלפת מערכת מלאה.
סוגיות בטיחות: דליקות ורעילות של קררים תחליפיים, כמפורט בטבלה להלן:

טבלה 2 - דירוג בטיחות לפי דליקות ורעילות

B3	A3	דרגה 3 - דליקות גבוהה
B2	A2	דרגה 2 - דליקות נמוכה/בינונית
B2L	A2L	דרגה 2 - דליקות נמוכה/בינונית
B1	A1	דרגה 1 - לא דליק
רעילות גבוהה	רעילות נמוכה	

יש לציין כי שיקולים אלו מסייעים לארגון להתאים את החלופה הרלוונטית בעבורו. עם זאת את החלופה המתאימה הארגון צריך לקבוע בהתאם לנתוני הפרויקט הפרטני ולאופי פעילותו, בהתייעצות עם מומחה בתחום המיזוג/הקירור.

8 קרר מפקח - קרר המצוין ברשימות החומרים המפורטים בחלק ב' בתוספת הראשונה לתקנות.



סקירת חלופות

להלן טבלה מרכזת של החלופות הקיימות לפי מגזר וגז קיים במערכת:

א. מערכות אקלום (מיזוג אוויר)

מצב קיים גז קירור	R-410A	R-410A	R-410A	R-134A	R-134A	R-134A
מצב קיים GWP ⁹	2,088	2,088	2,088	1,430	1,430	1,430
חלופה גז קירור	<u>R-290</u>	<u>R-32</u>	<u>R-454B</u>	<u>R-1234</u>	<u>R-513A</u>	<u>R-513B</u>
חלופה GWP	3	675	466	≤7	631	596
מערכות מתאימות	מערכות DX, VRF קטנות, צ'ילרים קטנים	מערכות DX, VRF פקל, מזגנים	פקל, צ'ילרים קטנים	צ'ילרים, מיזוג רכבים ואוטובוסים	צ'ילרים, מיזוג אוויר באוטובוסים, מערכות DX	צ'ילרים, מיזוג אוויר באוטובוסים, מערכות DX
רמת דליקות	גבוהה	נמוכה-בינונית	בינונית	נמוכה-בינונית	לא דליק	לא דליק
רמת רעילות	נמוכה	נמוכה	נמוכה	נמוכה	נמוכה	נמוכה
דירוג סיכון	A3	A2L	A2	A2L	A1	A1
יעילות אנרגטית	גבוהה	גבוהה	גבוהה	גבוהה	גבוהה	גבוהה
החלפה או הסבת מערכת	החלפת מערכת	החלפת מערכת	החלפת מערכת או הסבה (drop in)	החלפת מערכת או הסבה (drop in)	הסבה (drop in)	הסבה (in drop)
זמינות מסחרית	הגזים זמינים בשוק, אך נדרשת רגולציה (אסדרה) להכשרת טכנאים לטיפול במערכות עם קרר זה	הגזים זמינים בשוק, אך נדרשת רגולציה (אסדרה) להכשרת טכנאים לטיפול במערכות עם קרר זה	הגזים זמינים בשוק, אך נדרשת רגולציה (אסדרה) להכשרת טכנאים לטיפול במערכות עם קרר זה	זמין בשוק כגז מילוי, או כחלק מרכישת מערכת חדשה	זמין כחלק מרכישת צ'ילר חדש (החלפת מערכת)	זמין כחלק מרכישת צ'ילר חדש (החלפת מערכת)
עלויות המעבר	עלויות דומות למערכות קיימות עם R-410A	עלויות דומות למערכות קיימות עם R-410A	עלויות דומות למערכות קיימות עם R-410A	המערכות יקרות במעט ממערכות עם קיימות עם R-134A	כ-100,000 ש"ח – להחלפת גז בצ'ילר גדול	כ-100,000 ש"ח – להחלפת גז בצ'ילר גדול

9 נתוני ה-GWP המצוינים במסמך זה נלקחו מדוח ההערכה ה-4 של IPCC (IPCC AR4) בהתאם לתיקון קיגאלי לפרוטוקול מונטריאל ולמכסות המיושמות בישראל. כיום נכנסו לתוקף ערכי ה-GWP מדוח ההערכה ה-5 (IPCC AR5), אך הם אינם משמשים לחישובי המכסות.



ב. מערכות קירור

R-404A / R-507	R-404A / R-507	R-404A / R-507	R-404A / R-507	R-404A / R-507	מצב קיים גז קירור
3,985	3,985	3,985	3,985	3,985	מצב קיים GWP ⁹
<u>R-449A</u>	<u>R-448A</u>	<u>R-717 (אמוניה)</u>	<u>R-744 (CO₂)</u>	<u>R-290 (פרופאן)</u>	חלופה גז קירור
1,397	1,387	0	1	3	חלופה GWP
מערכת מרכזית מערכת עצמאית הובלה בקירור	מערכת מרכזית מערכת עצמאית הובלה בקירור	מערכת מרכזית או צ'ילר מרכזי מבוסס R-507	מערכת מרכזית הובלה בקירור	מערכת מבוזרת עם מגדל קירור מערכות קירור עצמאיות	מערכות מתאימות
לא דליק	לא דליק	גבוהה	לא דליק	גבוהה	רמת דליקות
נמוכה	נמוכה	גבוהה	נמוכה	נמוכה	רמת רעילות
A1	A1	B3	A1	A3	דירוג סיכון
בינונית	בינונית	גבוהה מאוד	גבוהה	גבוהה	יעילות אנרגטית
הסבה (drop in)	הסבה (drop in)	החלפת מערכת	החלפת מערכת	החלפת מערכת	החלפה או הסבת מערכת
זמין לרכישה	זמין לרכישה	זמין בארץ שנים רבות	זמין להתקנה במערכות מסחריות ותעשייתיות בהובלה בקירור טרם זמין ברמה מסחרית	זמין בשוק, אך נדרשת הכשרה לטכנאים לטיפול במערכות עם קרר זה	זמינות מסחרית
כ-100,000 ש"ח להסבת מערכת מרכזית דוגמת סופרמרקט בינוני	כ-100,000 ש"ח להסבת מערכת מרכזית דוגמת סופרמרקט בינוני	נחשבת כחלופה זולה יותר בחלק מהשימושים	מערכת קירור מרכזית מבוססת CO ₂ יקרה בכ-20% ממערכת R-507 מקבילה	עלויות דומות למערכות קיימות עם R-404A ו-R-507	עלויות המעבר

לקריאה מעמיקה ניתן ללחוץ על הלינק בעמודה חלופה/גז קירור או על פי סוגי המערכות והפתרונות בפרקים:

- | | |
|--|--|
| <p>2. מערכות קירור</p> <p>2.1 פתרונות קבע</p> <p>2.2 פתרונות ביניים</p> <p>2.3 פתרונות משלימים</p> | <p>1. מערכות אקלום (מיזוג אוויר)</p> <p>1.1 פתרונות קבע</p> <p>1.2 פתרונות ביניים</p> <p>1.3 פתרונות משלימים</p> |
|--|--|



1. מערכות אקלום (מיזוג אוויר)

מערכות האקלום (מיזוג אוויר) כוללות טווח רחב של סוגים וגדלים, כמו: מזגנים מפוצלים ומיני מרכזיים, מערכות מיזוג לרכבים, צ'ילרים, VRF, פקג' ו-DX. בהתאם לנתוני משרד הכלכלה לייבוא גזי קירור בשנת 2021, הקררים העיקריים במערכות אקלום כיום הם R-410A ו-R-134A.

טבלה 4 – מערכות אקלום, התפלגות ייבוא קררים בשנת 2021

קָרָר	הרכב הגז	מערכת	GWP	יבוא [טונות קררים]	יבוא [טונות ש"ע פד"ח]
R-410A	50% R-32 50% R-125	VRF, פקג', DX, מפוצלים	2,088	1,193	2,491,113
R-134A	100%	צ'ילר מיזוג רכב DX	1,430	603	862,966

1.1 פתרונות קבע

1.1.1 החלפת מערכות מבוססות קרר R-290 (פרופאן)

מערכות רלוונטיות: צ'ילרים קטנים, מערכות VRF ו-DX.

3:GWP

זמינות מסחרית בישראל: הקררים זמינים בשוק. לגבי מערכות עד 18KW - התקינה הקיימת (תקן 994) אינה מאפשרת ייבוא מערכות מיזוג המבוססות על קרר זה. על כן התקינה תעודכן כדי לאפשר את יבוא המערכות עם השלמת חקיקת אסדרת המקצוע למתקנים ונותני שירות מיזוג. עד אז ניתן לייבא רק מערכות גדולות מ-18KW המבוססות על קרר זה.

עלויות המעבר: מזגנים מבוססי R-290 פחות נפוצים כיום באירופה, אך מחיריהם תחרותיים בהשוואה לאלה המבוססים על R-410A. רוב היצרנים כבר מציעים דגמים עם קרר זה. גם צ'ילרים קטנים ובינוניים הפועלים על R-290 נפוצים במחירים תחרותיים, לעומת צ'ילרים הפועלים על R-410A או R-407C.

סוגיות בטיחות: רמת דליקות גבוהה (3), רעילות נמוכה (A).

יעילות תפעולית: יעילות אנרגטית גבוהה יותר ביחס למערכות הפועלות על R-410A.

עלויות הקרר: צפויות להיות דומות לקררים קיימים כיום.

אחר/אתגרים: הקרר בעל רמת דליקות גבוהה המחייבת כוח עבודה מיומן ומקצועי. יותר מ-2,000 טכנאים קיבלו את ההכשרה שפותחה לשם הסדרת העיסוק בתחום.



1.1.2. החלפת מערכות במערכות מבוססות קרר R-1234

קיימות נגזרות שונות של הקרר, בסיומות של האותיות ZE/YF, אך תכונותיהן ויישומן דומים מאוד. ל-R-1234YF יש עדיפות מבחינת COP¹⁰.

כמו כן ישנם כיום בשוק קררים שהרכבם מבוסס על יותר מ-90% R-1234, כדוגמת R-515B. יש לציין כי באירופה נשקלת הטלת מגבלות על שימוש בגזי R-1234 כחלק ממגבלות נרחבות יותר על חומרים אורגניים מופלרים (PFAS) אשר מאופיינים ביציבות גבוהה, הצטברות ברקמות ביולוגיות ופוטנציאל להשפעה בריאותית מזיקה. אם יוטלו מגבלות כאלו, עלולה להיות לכך השפעה מסוימת על הזמינות המסחרית של חלופה זו, ותחזוקתה.

מערכות רלוונטיות: צ'ילרים, מיזוג רכבים ואוטובוסים ו-DX.

:GWP

4 – R-1234YF

7 – R-1234ZE

זמינות מסחרית בישראל: זמין בשוק כקרר מילוי, או כחלק מרכישת מערכת חדשה.

עלויות המעבר: המערכות היום יקרות במעט ממערכות קיימות הפועלות על R-134A. עם זאת בשנים הבאות ספקים צפויים להפסיק להציע מערכות עם הקררים הישנים והעלויות של המערכות החדשות יהיו דומות לעלויות המערכות הישנות.

סוגיות בטיחות: רמת דליקות נמוכה-בינונית (2L), רעילות נמוכה (A).

יעילות תפעולית:¹¹ יעילות אנרגטית גבוהה - במערכות חדשות.

עלויות הקרר: דומות לקררים קיימים. מחירי הקררים החדשים ירדו, בד בבד עם עליית מחיר הקררים מהדור הישן עקב הגבלת המכסות.

10 Coefficient of Performance – מדד ליעילות האנרגטית של המערכת המבטא את היחס בין תפוקת המערכת לצריכת החשמל שלה.

11 יעילות באנרגיה יכולה להימדד על ידי צריכת האנרגיה ליח' תפוקת קירור או לפי מדד הנקרא Total Equivalent Warming Impact (TEWI) – מדד המשקף את הפליטות הישירות משימוש בגז הקירור ואת העקיפות מצריכת האנרגיה של המערכת. בשני המקרים מידת ההשפעה משתנה ממערכת למערכת כתלות במאפייני הפרויקט.



1.1.3. סיכום פתרונות קבע

טבלה 5 - סיכום מערכות אקלום: פתרונות קבע

R-134A	R-410A	מצב קיים גז קירור
1,430	2,088	מצב קיים GWP
R-1234*	R-290	חלופה גז קירור
≤7	3	חלופה GWP
צ'ילרים, מיזוג רכבים ואוטובוסים	מערכות DX, VRF קטנות, צ'ילרים קטנים	מערכות מתאימות
נמוכה-בינונית	גבוהה	רמת דליקות
נמוכה	נמוכה	רמת רעילות
A2L	A3	דירוג סיכון
גבוהה	גבוהה	יעילות אנרגטית
החלפת מערכת או הסבה (drop in)	החלפת מערכת	החלפה או הסבת מערכת
זמין בשוק כגז מילוי, או כחלק מרכישת מערכת חדשה	הגזים זמינים בשוק, אך נדרשת רגולציה (אסדרה) להכשרת טכנאים לטיפול במערכות עם קרר זה	זמינות מסחרית
המערכות יקרות במעט ממערכות קיימות על R-134A	עלויות דומות למערכות קיימות על R-410A	עלויות המעבר

1.2. פתרונות ביניים

1.2.1. החלפת קרר R-134A בקרר R-1234 במערכת קיימת (Drop in replacement)

כיום נבחנת בעולם האפשרות להחליף במערכת קיימת את הקרר R-134A ב-R-1234. ניסויים שנעשו מראים ירידה של כ-10% בממוצע גם בתפוקת המערכת וגם ביעילותה (COP), וכן טרם ידועה ההשפעה על המערכת לטווח הארוך.

פתרון זה מתאים כאשר יש יתירות מספקת בתפוקת הקירור.

מערכות רלוונטיות: צ'ילרים, מיזוג רכבים ואוטובוסים ו-DX.



:GWP

4 – R-1234YF

7 – R-1234ZE

זמינות מסחרית בישראל: זמין בשוק כקרר מילוי.

עלויות המעבר: עלות שאיבת הקרר הישן ומילוי החדש מוערכת בכמה מאות שקלים למערכת קטנה, כגון מיזוג לרכב.

סוגיות בטיחות: רמת דליקות נמוכה-בינונית (2L), רעילות נמוכה (A).

יעילות תפעולית: ירידה של כ-10%-15% ביעילות ובתפוקה ביחס לאותה מערכת עם הקרר המקורי (R-134A).

הערה: יש להביא בחשבון שהירידה ביעילות תגרור עלייה בצריכת החשמל ובהתאמה עלייה בפליטות הכרוכות בייצור החשמל, אם ייצור החשמל אינו ממקורות אנרגיה מתחדשת.

עלויות הקרר: דומות לקררים קיימים. המחירים לקררים חדשים ירדו, בד בבד עם עליית מחיר הקררים מהדור הישן עקב הגבלת המכסות.

1.2.2. הסבת מערכות קיימות מבוססות R-134A לשימוש בקררים R513A/R513B

הקררים R-513A/R-513B הם למעשה תערובות של הקררים R-1234YF ו-R-134A. יתרונם על החלפה ב-R-1234 הוא שמירה על ביצועים דומים, אך עצם היותם תערובת המכילה R-134A, והשפעתו על ה-GWP שלהם, הופך אותם לפתרון זמני.

מערכות רלוונטיות: צ'ילרים, מערכות קירור קטנות, מיזוג לרכב, הובלה בקירור ומערכות DX המבוססות על הקרר R-134A.

:GWP

631 – R-513A

596 – R-513B

זמינות מסחרית בישראל: זמין לרכישה.

עלויות המעבר: עלות שאיבת גז והזרמת הקרר החלופי ללא צורך בהחלפת שמן – כ-5,000 ש"ח למערכת עם כ-50 ק"ג קרר. עלות פעולה דומה במערכת מיזוג לרכב – כמה מאות שקלים.

סוגיות בטיחות: לא דליק (1), רמת רעילות נמוכה (A).

יעילות תפעולית: דומה ל-R-134A

עלויות הקרר: צפוי להיות בעלות דומה ל-R-134A

1.2.3. החלפת מערכות למערכות מבוססות קרר R-32

מערכות רלוונטיות: VRF, פקל, מזגנים, DX.

:GWP 675



זמינות מסחרית בישראל: הקררים זמינים בשוק. לגבי מערכות עד 18KW - התקינה הקיימת (תקן 994) אינה מאפשרת ייבוא מערכות מיזוג המבוססות על קרר זה, ועל כן יש להשלים את אסדרת המקצוע למתקינים ונותני שירות מיזוג. עד אז אפשר לייבא רק מערכות גדולות מ-18KW. יש לציין כי קרר זה הוא קרר מפקח במסגרת תיקון קיגאלי, ועל כן הוא צפוי לצאת משימוש בשל GWP בינוני. לכן עקרונית, אם יש חלופה אחרת, לא מומלץ להשקיע ברכישת מערכת חדשה עם קרר זה.

אופן המעבר: החלפת כלל המערכת.

עלויות המעבר: מערכות הפועלות על R-32 נמכרות במחירים תחרותיים בהשוואה למערכות הקיימות (R-410A).

סוגיות בטיחות: רמת דליקות נמוכה-בינונית (2L) ורעילות נמוכה (A).

יעילות תפעולית: למערכות הפועלות על R-32 יעילות אנרגטית גבוהה יותר לעומת המערכות הפועלות כיום על R-410A.

עלויות הקרר: R-32 מהווה 50% מ-R-410A ולכן עלותו תהיה דומה.

אחר/אתגרים: מלבד נושא הדליקות, כפי שצוין לעיל – השימוש בקרר זה יוגבל גם הוא בשנים הבאות עקב GWP גבוה, ולכן אינו כדאי כלכלית כתחליף לטווח ארוך.

1.2.4. החלפת R-410A בקרר R-454B

R-454B הוא תערובת של R-32 עם R-1234YF. כיום כמה חברות גדולות (לדוגמה TRANE ו-CARRIER) מציעות ציוד מבוסס על קרר זה, כגון צ'ילרים ויחידות Package (במקום קרר R-410A). גם במקרה זה רכישת מערכות לטווח ארוך לא כדאית כלכלית, כי גם הוא מפקח ויצא משימוש בהדרגה. עם זאת אפשר להחליף קרר במערכות קיימות.

מערכות רלוונטיות: צ'ילרים, מערכות DX.

GWP: 466

זמינות מסחרית בישראל: המוצרים זמינים בשוק.

אופן המעבר: החלפת כלל המערכת או לחלופין החלפה במערכת קיימת על ידי שאיבת R-410A, ניקוי המערכת והכנסת R-454B. עלויות המעבר: עלות המערכות דומה למערכות מבוססות קררים ישנים.

סוגיות בטיחות: רמת דליקות בינונית (2), רמת רעילות נמוכה (A).

יעילות תפעולית: יעילות אנרגטית דומה למערכות הפועלות על R-410A¹².

עלויות הקרר: צפויות להיות דומות לקררים הקיימים כיום.

<https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/our-businesses/cooling/refrigerants-and-energy-efficiency/> 12
[/refrigerants-for-lowering-the-gwp/r32](https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/our-businesses/cooling/refrigerants-and-energy-efficiency/refrigerants-for-lowering-the-gwp/r32)



1.2.5. סיכום פתרונות ביניים

טבלה 6 – סיכום מערכות אקלום: פתרונות ביניים

R-410A	R-410A	R-134A	R-134A	R-134A	מצב קיים גז קירור
2,088	2,088	1,430	1,430	1,430	מצב קיים GWP
R-454B	R-32	R-513B	R-513A	R-1234*	חלופה גז קירור
466	675	596	631	≤7	חלופה GWP
פקל, צ'ילרים קטנים	מערכות DX, VRF, פקל, מזגנים	צ'ילרים, מיזוג אוויר באוטובוסים, מערכות DX	צ'ילרים, מיזוג מערכות DX	צ'ילרים, מיזוג רכבים ואוטובוסים	מערכות מתאימות
בינונית	נמוכה-בינונית	לא דליק	לא דליק	נמוכה-בינונית	רמת דליקות
נמוכה	נמוכה	נמוכה	נמוכה	נמוכה	רמת רעילות
A2	A2L	A1	A1	A2L	דירוג סיכון
גבוהה	גבוהה	גבוהה	גבוהה	גבוהה	יעילות אנרגטית
החלפת מערכת או הסבה (drop in)	החלפת מערכת	הסבה (drop in)	הסבה (drop in)	החלפת מערכת או הסבה (drop in)	החלפה או הסבת מערכת
הגזים זמינים בשוק, אך נדרשת רגולציה ואסדרה להכשרת טכנאים לטיפול במערכות עם קרר זה	הגזים זמינים בשוק, אך נדרשת רגולציה (אסדרה) להכשרת טכנאים לטיפול במערכות עם קרר זה	גז ביניים, זמין כחלק מרכישת צ'ילר חדש (החלפת מערכת)	גז ביניים, זמין כחלק מרכישת צ'ילר חדש (החלפת מערכת)	זמין בשוק כגז מילוי, או כחלק מרכישת מערכת חדשה	זמינות מסחרית
עלויות דומות למערכות קיימות על R-410A	עלויות דומות למערכות קיימות על R-410A	כ-100,000ש"ח – להחלפת גז בצ'ילר גדול	כ-100,000ש"ח – להחלפת גז בצ'ילר גדול	המערכות יקרות במעט ממערכות קיימות על R-134A	עלויות המעבר



1.3 פתרונות משלימים

1.3.1 איסוף ומחזור קרר

תיאור כללי: ישנן כיום מערכות המאפשרות את שאיבת הקרר ומחזורו באמצעות מכל איסוף ומערכת שאיבה וסינון ניידת. במערכות קטנות כגון מזגנים מפוצלים יש אפשרות לאגור את כל הקרר במעבה לפני הפירוק, ללא אמצעים מיוחדים, ולהעביר את המזגן עם הקרר למפעל גריטה בעל יכולת למחזור הקרר.

מערכות רלוונטיות: כלל המערכות - ממזגן מפוצל ועד מערכות גדולות מאוד.

עלויות נלוות: ללא עלויות נלוות. אפשר אף להפוך פעולה זו לחיסכון עקב שימוש חוזר בקרר במערכות קיימות, ואף להכנסה ממכירת הקרר.

פוטנציאל החיסכון: כל כמות גז ממוחזרת, בין שתמוחזר בארץ או תיובא, תצמצם את הצריכה של חומר מפוקח חדש שנדרש לייבא במסגרת מכסה, ותאפשר מרווח נשימה נוסף לצרכן ולמשק. היכולת למכור את הקררים לשימוש חוזר והעלייה הצפויה במחירים בשנים הקרובות, יוצרות כדאיות כלכלית לפעילות זו.

1.3.2 צמצום דליפות קרר ממערכות

תיאור כללי: תחזוקה מונעת וקיצור הזמן החולף מרגע התרחשות דליפה עד לאיתורה ולתיקונה הם בעלי פוטנציאל לצמצום ניכר של כמויות הקרר הנפלטות מהמערכת ויש למלאן מחדש על מנת להמשיך את הפעולה התקינה של המערכת. עלות המילוי של הקררים הישנים גבוהה מאוד כבר כיום, וצפויה להיות כפולה בתוך שנה. שיפור אחזקת המערכת גם ישמור על טווח יעילות גבוה יותר, וכן יחסוך בעלויות החשמל הנצרך.

מערכות רלוונטיות: כל המערכות.

פוטנציאל החיסכון: במערכות מיזוג מסחריות בינוניות גדולות, אחוז הדלף השנתי המקובל בארץ נע בטווח של 200%-40% מכמות הקרר במערכת. זאת לעומת אירופה, שבה מקובל טווח של כ-10%. בהתאם לעלות הגז ועלות ביקור הטכנאי מדובר בעלויות של עשרות עד מאות אלפי שקלים בשנה למערכות בינוניות וגדולות. החיסכון בעלות הקרר, בייחוד לנוכח התייקרותו בעתיד הקרוב, גבוה מהעלות הנוספת הנדרשת לתחזוקה.



2. מערכות קירור

מערכות קירור מסחריות משמשות במגוון ארגונים ועסקים, בין היתר אצל קמעונאיות המזון, מחסני לוגיסטיקה, מלונות, מטבחים וחדרי אוכל מסחריים-תעשייתיים. המערכות כוללות מקררים, מקפיאים, חדרי קירור וחדרי הקפאה, ונחלקות לארבעה סוגים:

1. מערכות מרכזיות שבהן מדחסים ומעבים יחידים משותפים למספר רב של יחידות קירור או הקפאה. למשל: מערכות קירור והקפאה מרכזיות בסופרמרקטים, חדרי קירור במרכזים לוגיסטיים גדולים.
2. מערכות עצמאיות שבהן לכל מערכת מדחס(ים) ומעבה אוויר משלה. למשל: מקררים קטנים בסופר, וחדרי קירור למגדלי פרחים והובלה בקירור.
3. מערכות מבוססות צ'ילר מרכזי עם קרר R-507, המקרר באמצעות קרר משני (תמיסת גליקול) מספר רב של יחידות קצה (חדרי קירור והקפאה).
4. מערכות עצמאיות מבוזרות המחוברות למגדל קירור מרכזי המספק להן מי עיבוי.

שני הקררים העיקריים המשמשים במערכות קירור והקפאה הם R-507 ו-R-404A. ישנן גם מערכות קטנות מבוססות R-134A, המשמשות לדוגמה להובלה בקירור ומקפיאים עצמאיים. בשנת 2022 חדר לשוק הקמעונאי הקרר R-290 שלו 3 GWP, המתאים גם למערכות עצמאיות מבוזרות בשילוב עם מגדל קירור, ובשנים האחרונות החלו להתקין מערכות מבוססות קרר R-744 (CO₂) שה-GWP שלהן הוא 1.

טבלה 7 - מערכות קירור מסחרי, התפלגות ייבוא קררים בשנת 2021

קרר	הרכב הגז	מערכת	GWP	יבוא [טונות קרר]	יבוא [טונות ש"ע פד"ח]	שיעור יבוא [טונות ש"ע קרר]	שיעור יבוא [טונות ש"ע פד"ח]
R-507	50% R-125 50% R-134A	מרכזית/ עצמאית	3,985	566	1,511,568	20%	33%
R-404A	52% R-143a 44% R-125 4% R-134A	עצמאית	3,922	114	298,677	4%	6%



2.1. פתרונות קבע

2.1.1. החלפת מערכות למערכות מבוססות CO₂ (R-744)

מערכות רלוונטיות: מערכות מרכזיות, החלפת מערכות מבוססות R-507, הובלה בקירור. המערכת מתאימה להתקנה ברוב האזורים בארץ, למעט באזור הבקעה ומדרום למצפה רמון.

מגזרים רלוונטיים: קמעונאיות מזון, מחסני לוגיסטיקה, מלונות, מטבחים וחדרי אוכל מסחריים-תעשייתיים.

1:GWP

זמינות מסחרית בישראל: בישראל ישנן כיום כמה חברות קבלניות אשר עוסקות בהתקנה ותפעול של מערכות CO₂ מסחריות, ואפשר גם לפנות לחברות קבלניות בין-לאומיות. נכון להיום כ-20 מערכות מותקנות, וככל שיגבר הביקוש צפוי לעלות מספר הספקים והקבלנים המעניקים שירות זה. בעבור מערכות קירור בהובלה חלופה זו טרם זמינה מסחרית, אך היא נבחנת וזמינה להדגמה במגוון מקומות בעולם.

אופן המעבר: החלפת כלל המערכת.

עלויות המעבר: מערכת CO₂ יקרה בכ-20% ממערכת R-507 מקבילה. לשם ההמחשה, עלות מערכת קירור סופרמרקט בהספק של כ-120 טון קירור נאמדת ב-3 מיליון ₪.

סוגיות בטיחות: עבודה בטווח לחצים גבוה. יש חשש לפיצוץ עקב קרר נוזלי הכלוא בנפח מוגבל ועלול במקרים של תחזוקה לא נכונה ליצור לחץ גבוה מאוד במערכת. יש צורך בתכנון מדויק של המערכת ובהקמה ותפעול בידי כוח אדם מיומן ומקצועי.

יעילות תפעולית: מערכת יעילה אנרגטית וחסכונית בכ-40% בצריכת החשמל ביחס למערכות R-507. נפח הקרר במערכת הוא כשליש בהשוואה למערכת מבוססת R-507. בשל העבודה בלחץ גבוה, המצריכה התקנה ואחזקה ברמה מקצועית גבוהה, כמות הדליפות צפויה להיות אפסית ומספר קריאות האחזקה השנתיות צפוי להיות נמוך.

עלויות הקרר: העלות משתנה כתלות ביבוא וביכולת ייצור בארץ. נכון למרץ 2023, עלות הקרר היא כרבע מעלות הקרר R-507 (כ-30 ₪ לק"ג).

חסמי מעבר עיקריים: כאמור, בשל העבודה בלחץ גבוה וסיכוני הבטיחות הנובעים מכך, יש צורך בכוח עבודה מיומן ומקצועי. מחסור בכוח אדם מתאים בישראל מאפשר כיום מספר התקנות מוגבל בכל שנה, אולם חסם זה ייעלם כאשר הביקוש יצדיק כניסת ספקים וקבלנים נוספים לתחום.

2.1.2. החלפת מערכות למערכות מבוססות R-290

מערכות רלוונטיות: מערכות עצמאיות והובלה בקירור. מתאים גם למערכות מבוזרות בשילוב עם מגדלי קירור, לרבות באזור הבקעה ומדרום למצפה רמון.

3:GWP

זמינות מסחרית בישראל: מערכות עצמאיות עם R-290 זמינות ומותקנות כבר כיום באופן נרחב בישראל. אין כיום מערכת מבוזרת בישראל, אך ההתקנה אפשרית.

אופן המעבר: החלפת כלל המערכת.



עלויות המעבר: עלויות דומות למערכות קיימות המשתמשות ב-R-404A ו-R-507.

סוגיות בטיחות: רמת דליקות גבוהה (3), רמת רעילות נמוכה (A).

יעילות תפעולית: יעילות דומה לזו של R-507.

עלויות הקרר: עלויות דומות ל-R-507 כיום (כ-150 ש"ק"ג).

חסמי מעבר עיקריים: דורש התקנה ותפעול בידי טכנאי מוסמך לעבודה עם קררים דליקים.

2.1.3. החלפת מערכות למערכות מבוססות אמוניה (R-717)

מערכות רלוונטיות: מערכות מרכזיות, מערכות בעלות צ'ילר מרכזי מבוסס R-507 עם תמיסת גליקול כקרר משני.

0 :GWP

זמינות מסחרית בישראל: טכנולוגיה ותיקה מאוד בארץ ובעולם, אולם השימוש במערכות אלו פחות נפוץ בשל רעילות ודליקות הקרר, אשר מגבילות את השימוש בו בסמוך לריכוזי אוכלוסין.

אופן המעבר: החלפת כלל המערכת.

עלויות המעבר: חלופה זולה יותר מהקרר R-507 בחלק מהשימושים.

סוגיות בטיחות: רמת דליקות גבוהה (3), רמת רעילות גבוהה (B).

יעילות תפעולית: יעילות גבוהה ביחס לקרר R-507.

עלויות הקרר: זול במידה ניכרת מקררים קיימים ועתידיים.

חסמי מעבר עיקריים: אינו מתאים לשימוש באזורים מאוכלסים בצפיפות, כגון קניונים ואזורי מגורים. רלוונטי יותר לתעשייה ומקומות מרוחקים. דליפת אמוניה מסוכנת מאוד גם בטווחים גדולים יחסית (מאות מטרים) שכן החומר דליק ורעיל, ולכן נדרשים אמצעים לניטור הדליפות ואבטחה במקרה של דליפה.



2.1.4. סיכום פתרונות קבע

טבלה 8 - סיכום חלופות מערכות קירור מסחרי - פתרונות קבע

R-507 או R-404A	R-507 או R-404A	R-507 או R-404A	מצב קיים קרר
3,985	3,985	3,985	מצב קיים GWP
R-717 (אמוניה)	R-744 (CO₂)	R-290	חלופה קרר
0	1	3	חלופה GWP
מערכת מרכזית או צ'ילר מרכזי מבוסס R-507	מערכת מרכזית הובלה בקירור	מערכת מבוזרת עם מגדל קירור מערכות קירור עצמאיות	מערכות מתאימות
גבוהה	לא דליק	גבוהה	רמת דליקות
גבוהה	נמוכה	נמוכה	רמת רעילות
B3	A1	A3	דירוג סיכון
גבוהה מאוד	גבוהה	גבוהה	יעילות אנרגטית
החלפת מערכת	החלפת מערכת	החלפת מערכת	החלפה או הסבת מערכת
זמין בארץ שנים רבות	זמין להתקנה במערכות מסחריות ותעשייתיות בהובלה בקירור טרם זמין ברמה מסחרית	זמין בשוק, אך נדרשת הכשרה לטכנאים לטיפול במערכות עם קרר זה	זמינות מסחרית
נחשבת כחלופה זולה יותר בחלק מהשימושים	מערכת קירור מרכזית CO ₂ יקרה בכ-20% ממערכת R-507 מקבילה	עלויות דומות למערכות קיימות עם R-404A ו-R-507	עלויות המעבר



2.2 פתרונות ביניים

2.2.1 הסבת מערכות R-507 ו-R-404A לקררים R-448A/R-449A

מערכות רלוונטיות: מערכות מרכזיות ועצמאיות, הובלה בקירור.

:GWP

1,387 – R-448A

1,397 – R-449A

זמינות מסחרית בישראל: חלופות אלו טרם הוטמעו בישראל, אך אין חסמי יבוא מהותיים אם יהיה ביקוש לכך. **אופן המעבר:** הסבת מערכת קיימת (drop-in). נדרשת שאיבה של הקרר הקיים וניקוי המערכת לפני המילוי בקרר החלופי.

עלויות המעבר: כ-100,000 ש"ח למערכת קירור בינונית בסופרמרקט.

סוגיות בטיחות: לא דליק (1), רעילות נמוכה (A).

יעילות תפעולית: יעילות אנרגטית דומה לקרר R-507.

עלויות הקרר: נכון למרץ 2023, עלות הקרר כפולה מעלות R-507 (כ-250 ש"ח לק"ג). המחיר צפוי להשתוות במהלך 2024, עקב התייקרות הקרר R-507 והוזלת הקרר התחליפי ככל שהכמויות המיובאות יגדלו.

חסמי מעבר עיקריים: בישראל יש ניסיון מקצועי מועט בביצוע הסבות. פער זה ניתן לגישור מהיר (כמה חודשים עד שנה).



טבלה 9 – סיכום פתרונות ביניים למערכות קירור מסחרי והובלה בקירור

R-507 או R-404A	R-507 או R-404A	מצב קיים קירור
3,922	3,922	מצב קיים GWP
R-449A	R-448A	חלופה מוצעת קרר
1,397	1,387	חלופה מוצעת GWP
מערכת מרכזית מערכת עצמאית הובלה בקירור	מערכת מרכזית מערכת עצמאית הובלה בקירור	מערכות מתאימות
לא דליק	לא דליק	רמת דליקות
נמוכה	נמוכה	רמת רעילות
A1	A1	דירוג סיכון
בינונית	בינונית	יעילות אנרגטית
הסבה (drop in)	הסבה (drop in)	החלפה או הסבת מערכת
זמין לרכישה	זמין לרכישה	זמינות מסחרית
כ-100,000 ש להסבת מערכת מרכזית כדוגמת סופרמרקט בינוני	כ-100,000 ש להסבת מערכת מרכזית כדוגמת סופרמרקט בינוני	עלויות המעבר

2.3. פתרונות משלימים

2.3.1. איסוף ומחזור קררים

תיאור כללי: שאיבה של הקרר מתוך המערכת למכל איסוף, ניקוי והשבה לשימוש או מכירה.

מערכות רלוונטיות: כל המערכות.

אתגרים/מתי מתאים: בהסבה לקרר אחר, או בהשבת המערכת.

עיקרי שיטת העבודה: פעולה זו נעשית באמצעות ציוד נייד ייעודי בשטח, שקיים כבר היום בידי הקבלנים והספקים הרלוונטיים.



עלויות נלוות: זניח ביחס לעלות פרויקט ההסבה או החלפה של המערכת.

פוטנציאל החיסכון: שיעור המחזור עומד על כ-95% מסך נפח הקרר במערכת. לשם ההמחשה במערכת עם R-507 במשקל 500 ק"ג, ניתן להשיב כ-475 ק"ג, ולחסוך כ-35-60 אלף ש"ח בסה"כ (כתלות במחיר הקרר המתייקר בהתמדה).

2.3.2. צמצום דליפות

תיאור כללי: בהינתן מערכת סגורה הכוללת מעבה, מדחסים וצנרת, יהיו דליפות הנובעות מהתרופפות מחברים, בלאי או פגיעה בציוד. שיעור הדליפות הממוצע באירופה ובארה"ב הוא 25%-40%, ואילו בארץ שיעור הדליפות גבוה יותר ונע בטווח של 100%-200%. ניתן להקטין מאוד את שיעור הדליפות באמצעות שיפור רמת האחזקה והניטור.

מערכות רלוונטיות: כל המערכות.

אתגרים/מתי מתאים: במערכות עצמאיות קטנות יש אתגר של תדירות בדיקות וטיפול שוטף.

עיקרי שיטת העבודה:

- התקנת גלאים וביצוע בדיקות בסמוך לנקודות תורפה במערכת.
- איתור מקור הדליפה ותיקונו מייד לאחר הגילוי.
- ניטור ובקרה של שיעורי הדליפה בכל מערכת בנפרד.
- קביעת ערכי סף לדליפה המחייבים השבתה או תיקון מהותי במערכת.

עלויות נלוות כנגד פוטנציאל החיסכון: בעבור מערכת ממוצעת המכילה 500 ק"ג, עם שיעור דליפות של 100%, בהיעדר תיקון הדליפה בזמן סביר, עלויות הקרר הדולף שיש למלא בחזרה בשנה הן בטווח 35,000-62,500 ש"ח למערכת. העלות המוערכת לשיפור האחזקה והתקנת גלאים נמוכה יותר.

דוגמה:

למערכת קירור של סופרמרקט, המכילה 400 ק"ג R-507, עם דלף שנתי בהיקף של 100%, תחזוקה מוגברת וניטור יביאו לצמצום הדלף ל-40% (ערך שמרני לעומת 25% כמקובל באירופה).

עלות מילוי שנתי של 400 ק"ג R-507 במערכת זו היא כ-50,000 ש"ח (כיום מחיר הגז הוא כ-125 ש"ח לקילוגרם, ומחיר זה צפוי להיות מוכפל בתוך כשנה). צמצום הדלף ל-40% יחסוך 30,000 ש"ח בשנה, ואילו תוספת העלות של תחזוקה משופרת תהיה פחות ממחצית מזה, וברוב המקרים תוסיף פחות מ-10,000 ש"ח בשנה. לפיכך השקעה בצמצום הדלף צפויה לחסוך כ-20,000 ש"ח בשנה, במחירים של היום.

"עלינו להיות השינוי שאנו רוצים לראות בעולם"

מהאטמה גנדי