

מכון ציגלמן

רחוב שבדיה 27, חיפה 34980, טלפון: 825 7966 (04), פקס: 825 5434 (04)
דואר אלקטרוני: info@ziegelman.co.il, אתר אינטרנט: www.ziegelman.co.il

27 בפברואר 2008

האם ניתן להפעיל מערכות קירור ישירות בעזרת קרינת השמש?

אהוד ציגלמן



מבוא

במאמר זה של נסקור את שוק מערכות הקירור הפועלות באמצעות חום מקרינת השמש (Solar Assisted Air Conditioning or Solar Cooling).

טכנולוגיית הקירור הסולארי עושה שימוש באנרגיית חום, המושגת באמצעות קולטים תרמו סולאריים, בכדי להפעיל מכונות קירור. הביקוש לקירור גדל במהירות בחלקים רבים של העולם, ובמיוחד באזורים בהם יש אקלים נוח, כגון ארצות אירופה. הדבר הביא לעלייה דרמטית בביקוש לחשמל בימי קיץ חמים, אשר הביאה לגידול לא רצוי בשימוש בדלקים פוסאליים ואנרגיה גרעינית וכן לסיכון יציבות רשת החשמל.

לאור החפיפה בפאזה בין יישומי קירור רבים, ובהם מערכות מיזוג אוויר, למועדים בהם כדור הארץ סופג קרינה סולארית רבה, השילוב של מקור חום תרמו סולארי ופעילות קירור טומן בחובו את הפוטנציאל להחליף מערכות קירור מסורתיות רבות הפועלות באמצעות חשמל. מערכות קירור סולארי גדולות פועלות כבר כיום במאות אתרים ברחבי העולם, ובעתיד צפוי שיתנו מענה גם לצרכי קירור ביתיים.

מכיוון וקירור סולארי, עדיין אינו נפוץ, חשוב להבין את מאפייני השוק והטכנולוגיה בכדי לאפשר גיבוש של אסטרטגיית פעולה למדינה או לחברה בשוק זה. מאמר זה עשוי לסייע לקובעי מדיניות, לגבש וליישם מדיניות מתאימה לתמיכה או פעילות בשוק הקירור הסולארי.

העיקרון הבסיסי של מערכות מיזוג אוויר

מערכת מיזוג אוויר עובדת בהתאם לעיקרון הפיזיקאלי הבסיסי, שגז שנדחס פולט חום, וגז שעובר ללחץ נמוך יותר סופח חום, או כאילו פולט קור. התופעה נובעת מכך שהמולקולות בגז דחוס פוגעות האחת בשנייה בתדירות גבוהה יחסית, פגיעה המלווה בפליטת חום. לכן, כאשר

מקטינים לחץ של גז, המולקולות בו פוגעות האחת בשנייה בתדירות נמוכה יותר והגז הופך קר יותר. טכנולוגיית קירור זו קיימת עשרות שנים, והיא משמשת במזגנים ומקררים.

שוק מיזוג האוויר

שוק מיזוג האוויר בעולם מצוי זה שנים בצמיחה עקבית בת מספר אחוזים בשנה. בעוד בשנת 1998 נמכרו 26 מיליון מערכות מיזוג אוויר, שוות ערך למיזוג של חדר, הרי בשנת 2006 כבר נמכרו כ 40 מיליון יחידות. זהו גידול שנתי של 5.5% במספר היחידות הנמכר. מעל לחצי מהמכירות העולמיות מבוצעות ביפן ובאסיה, שהם אזורים יחסית חמים, לחים ובעלי יכולת כלכלית לרכישת מזגן. גודל שוק מיזוג האוויר הסטנדרטי היה בשנת 2003 שווה ל- 50 מיליארד דולר.

טכנולוגיית הקירור הסולארי

כאשר אמוניה נוזלית מצויה בלחץ במערכת, והלחץ היחסי הקיים עליה מורד, באמצעות הוספת מימן למערכת, היא מתקררת ומאפשרת פעולת קירור. בכדי להחזיר אמוניה טהורה למחזור נוסף של קירור, יש להפריד אותה מהמימן, דבר הנעשה באמצעות הוספת מים המגיבים עם המימן ומשאירים במערכת אמוניה. במקור החום התרמו-סולארי, המצוי בטמפרטורה של כ 90° - 70° , נעשה לבסוף שימוש כדי להפריד את המים והמימן.

אנו צופים מעבר אפשרי למערכות בעלות אפקט כפול של מיזוג, המצריכות מקור חום בטמפרטורה של 170° , אותה ניתן להשיג באמצעות קולטים פראבוליים מרכזי קרינת שמש.

כיצד מתבצע תהליך הקירור בטכנולוגיית Solar Assisted Air Conditioning?

התהליך מתחיל במְאִיד, המצוי בלחץ אליו מוכנסת אמוניה נוזלית טהורה. האמוניה היא חומר בעל תכונות של רפריג'רנט. בטמפרטורת החדר היא גז, מכיוון והיא רותחת בטמפרטורה של מינוס 33° . בתחילת התהליך במערכת קיים לחץ, דבר המביא להיות האמוניה במצב צבירה נוזלי.

בתוך המְאִיד מצוי גז מימן (hydrogen), הסופג חלק מהלחץ שבמערכת, כך שעל האמוניה נותר פחות לחץ. המימן אינו מגיב עם האמוניה, וכל תפקידו לתפוס חלק מהנפח והלחץ שבמערכת. בהתאם לחוק דלתון הפיסיקאלי, האמוניה מגיבה בהתאם לחלקה בלחץ הכללי, כאילו והיה ואקום והמימן לא היה נוכח. נקודת הרתיחה של גז האמוניה משתנה עם הקטנת הלחץ, כך שהאמוניה יכולה להפוך כעת לגז בטמפרטורה הנמוכה מטמפרטורת החדר. **כאשר האמוניה מתפשטת עם הורדת הלחץ, היא סופחת חום מהמְאִיד, דבר המביא לאפקט הקירור.**

תמונה – מערכת Absorption Chiller



השלב הבא הוא לקבל שוב את נוזל האמוניה, בכדי להתחיל את התהליך בשנית. האמוניה כעת הנה גז המעורבב עם מימן. הוצאת המימן נעשית באמצעות מים, שהם חומר סופח. האמוניה מגיבה עם המים ואילו המימן לא. למערכת מוכנסים מחלקה העליון מים, המגיבים עם האמוניה. בחלקה העליון של המערכת נותר גז מימן. בשלב זה, האמוניה היא נוזלית והיא מעורבבת עם מים, ועדיין אינה מתאימה לשימוש חוזר כרפריג'רנט.

הפרדת האמוניה מהמים נעשית בעזרת שימוש במקור חום חיצוני בטמפרטורה של כ $70-90^{\circ}$, ואף של 120° , העשוי לבוא ממערכת תרמו סולארית. כאשר האמוניה והמים נחשפים לחום מספיק, האמוניה והמים הופכים לגז, ונכנסים למפריד גזים המפריד ביניהם. המפריד היא צנרת בה המים מתקררים לנוזל והאמוניה נשארת כגז העובר דרכה. במים יעשה שימוש חוזר כשלב הקודם של הפרדת האמוניה מהמימן.

בשלב האחרון, גז האמוניה נכנס למעבה, שהוא מחלף חום, בו האמוניה מתקררת לטמפרטורת החדר. מכיוון והאמוניה מצויה בלחץ, היא הופכת שוב לנוזל, והיא כשירה להתחיל מחדש את התהליך כרפריג'רנט.

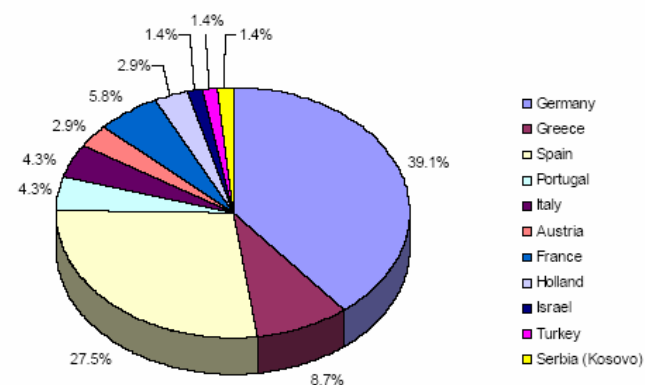
שוק הקירור הסולארי

משתמשי הקצה בשוק למערכות מיזוג אוויר המסתייעות במקור חום תרמו-סולארי, הם מפעלים, בתי-מלון ובנייני משרדים. שוק זה הנו בתולי, והותקנו בו עד היום ברחבי העולם בין 150 ל 200 מערכות, וזאת בעיקר במערב אירופה. אנו מעריכים, כי לאור רצון ממשלות להפחית צריכת החשמל, ובמיוחד בשעות השיא, הן יסבסדו את מערכות אלה, כך שהשוק יגדל בצורה משמעותית בשנים הקרובות.

השוק באירופה

באירופה מותקנות לפי ה ESTIF 100-120 מערכות Solar Cooling, כאשר מרביתן מותקנות בגרמניה (40%), בספרד (27%), ויוון (9%). אלה שווקים בהם יש או תמיכה ממשלתית ערה במערכות המשתמשות באנרגיה חליפית, או שהם מצויות ברצועת השמש. הקיבולת המצרפית של מערכות אלה נעה סביב 8-9 MW, והן פועלות באמצעות קולטים בשטח של 20,000 מטר רבוע. אלו הן מערכות של כמה מאות kW, כאשר לכל 1 kW, דרושים כ 3 m^2 של קולטי שמש. יוצא מכך, שהמדובר בעיקר בשוק תעשייתי מסחרי, העושה שימוש בטכנולוגיה זו, המצריכה שטח גדול ביותר והיקפי השקעה ניכרים. למערכות אלו COP של יעילות אנרגטית הנע בין 0.6-0.8.

תרשים – התפלגות המערכות המותקנות באירופה



מקור: דוח ה ESTIF מאוגוסט 2006

תקופת החזר

תקופת החזר של מערכות אלה, החוסכות 30-60% מעלויות האנרגיה נעה, בין 6-10 שנים.

מחיר מערכות בעלת הספק של 35-170 kW צפויים לנוע בין 2,500 ל 6,000 יורו בהתאמה, כאשר סבסוד ממשלתי עשוי להפחית כ 40% מהעלות. מחירים אלה עדיין אינם תחרותיים דיים בפני עצמם, כאשר הסבסוד הוא זה המביא אותם להיות תחרותיים אל מול מערכות מיזוג אוויר חשמליות סטנדרטיות, והמשך שימוש בתנורי גז או נפט קיימים לחימום. לפי מכון המחקר Sarasin מערכת מיזוג סולארית חוסכת בין 40-70% מעלויות החשמל של מערכת מיזוג אוויר סטנדרטית.

השוק הביתי

קיימות בייצור באסיה גם מערכות בעלות הספק קטן של כ 50 kW. מערכות אלו זקוקות אם כן, לשטח קולטים קטן יותר העשוי להתאים גם לגג של בית פרטי. מערכות אלו ניתן להפעיל גם בעזרת מים בטמפרטורה של 65° , והן פועלות ב COP גבוה יחסית של 0.7.

פוטנציאל השוק

להערכתנו פוטנציאל השוק העולמי, של מערכות ה **Solar Assisted Air Conditioning**, הנו עצום. הדבר נובע משני גורמים:

- הגורם הראשון הוא שהשימוש בתחליף של מערכות מיזוג-אוויר סטנדרטיות הנו עתיר חשמל ונעשה בשעות השיא של צריכת החשמל ברשת, דבר העשוי להביא או להפסקות חשמל, או לצורך בהשקעות עצומות בהרחבת קיבולת הרשת. להערכתנו, מערכות מיזוג האוויר משתמשות בכ 25% מהחשמל הנצרך בשעות השיא של הביקוש לחשמל.
- והגורם השני הוא המודעות הגוברת לצורך במעבר למערכות אנרגטיות, שאינן צורכות חשמל אקטיבית, אלא מייצרות אותו בעצמן באופן פאסיבי.

סיכום

אנו רואים התאמה טובה של טכנולוגיית ה **Solar Assisted Air Conditioning**, לצרכי משק החשמל.

השוק העולמי לקירור סולארי הנו בתולי, וצפוי לעבור צמיחה חזקה בשנים הקרובות, כאשר הצמיחה תתאפשר לאור החיסכון בחשמל אותו משיגה מערכת מיזוג האוויר, ורצון של ממשלות בעולם המערבי לצמצם את השימוש במקורות אנרגיה מזהמים, במיוחד בשעות השיא של צריכת החשמל.

רו"ח אהוד ציגלמן, הוא מנהל מחלקת יעוץ אסטרטגי במכון ציגלמן. הוא עוסק בסיוע לחברות לאתר ולבחון שווקים חדשים, בעיקר בתחומי האנרגיה החליפית. אהוד עבד בעברו בביצוע מחקרי שיווק בישראל, ולאחר מכן בפירמת ייעוץ מובילה בארה"ב. לאהוד תואר שני בכלכלה מאוניברסיטת תל-אביב, בה הוא מלמד זה שמונה שנים בפקולטה לניהול ע"ש רקנאטי.

ehud@ziegelman.co.il

המאמר פורסם בניוזלטר **EnergiaNews** בחודש מרץ 2008