

אנרגיה במערכות קירור ומיזוג אוויר

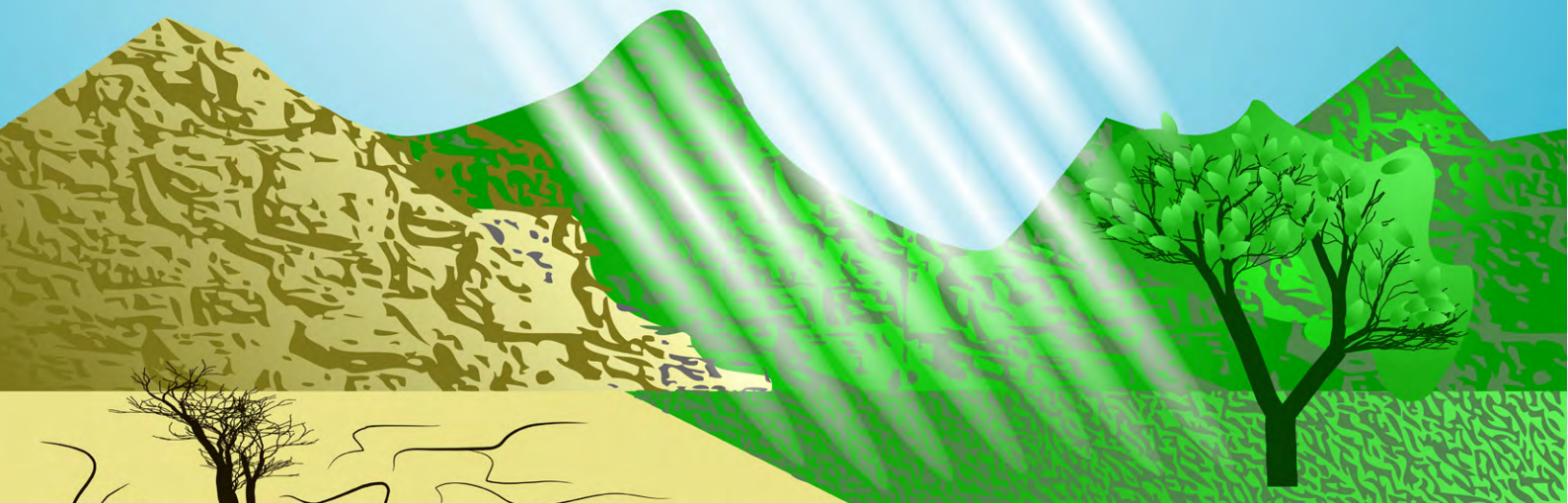
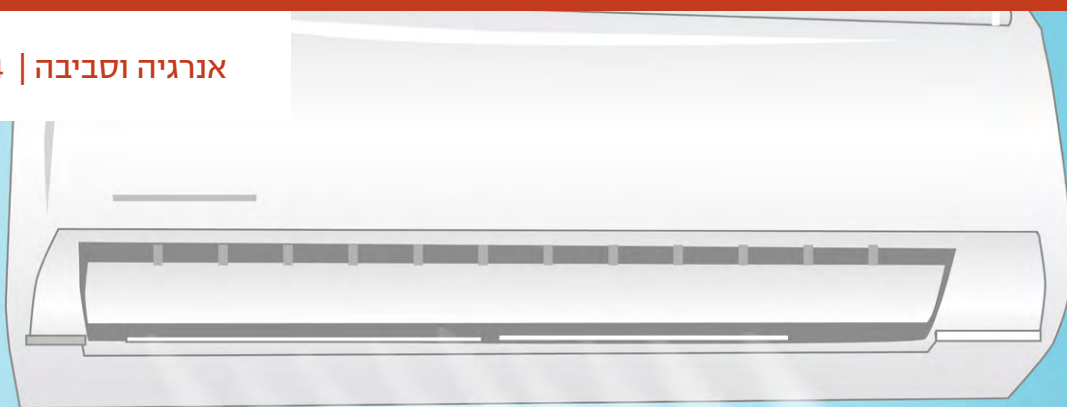
סיכום והמלצות
דיון פורום אנרגיה 55

פרופ' גרשון גרוסמן |
איילת רוזה

מוסד שמואל נאמן
למחקר מדיניות לאומית



אנרגיה וסביבה | 05/24





מוסד שמואל נאמן
למחקר מדיניות לאומית

אנרגיה במערכות קירור ומיזוג אוויר

סיכום דיון והמלצות
פורום האנרגיה של מוסד שמואל נאמן
מיום 06/02/2024

פרופ' גרשון גרוסמן
איילת רוה

מאי 2024

אין לשכפל כל חלק מפרסום זה ללא רשות מראש ובכתב ממוסד שמואל נאמן מלבד לצורך ציטוט של קטעים
קצרים במאמרי סקירה ופרסומים דומים תוך ציון מפורש של המקור.

הדעות והמסקנות המובאות בפרסום זה הן על דעת המחברים ואינן משקפות בהכרח את דעת מוסד שמואל נאמן.

רשימת משתתפי הפורום

- מר אהרוני רפי – אסא אהרוני מהנדסים יועצים בע"מ
- מר בית - הזבדי אדי – סיגמא סמארט
- מר בן-ארי עדי – הטכניון, הפקולטה להנדסת מכונות
- גב' ברטל דלית – AES - הנדסת מיזוג אוויר
- ד"ר גומיד חאלד – הטכניון, הפקולטה להנדסת מכונות
- פרופ' גרוסמן גרשון – ראש פורום האנרגיה, מוסד שמואל נאמן והפקולטה להנדסת מכונות, הטכניון
- מר וולקוב אסף – יועץ ומהנדס מיזוג אוויר
- מר יונסי איציק – משרד האנרגיה
- מר מלאכי יוני – מנכ"ל משב ארדן מערכות
- מר מנשה אבי – A.M. International
- מר פרוכטר אליעזר – Scitherm LTD
- ד"ר פרידמן גדעון – החממה הטכנולוגית; לשעבר מדען ראשי, משרד האנרגיה
- ד"ר צבר ניר – המחלקה להנדסת מכונות וראש המרכז לחקר אנרגיה, אוניברסיטת אריאל
- גב' רווה איילת – פורום אנרגיה, מוסד שמואל נאמן
- מר רומנו יצחק – הטכניון אגף בינוי ותחזוקה
- ד"ר שאולי יואב - EQW Engineers LTD

תוכן העניינים

2	רשימת משתתפי הפורום
4	תקציר מנהלים
7	1. הקדמה
8	2. רקע
10	3. מידע: אנרגיה במערכות קירור ומיזוג אוויר
15	4. דיון
20	5. סיכום והמלצות
22	נספח 1: תוכנית פורום האנרגיה

תקציר מנהלים

מערכות מיזוג אוויר לשימוש בבניינים מתחלקות לשני סוגים עיקריים: מערכות יחידתיות (unitary systems) ומערכות מרכזיות. לסוג הראשון שייכים מזגני חלון, מזגנים מפוצלים ומיני-מרכזיים. אלה מערכות סטנדרטיות המהוות חלק הארי בהתקנות בבתי מגורים ולא מעט גם בבניינים ציבוריים, מסחריים ותעשייתיים. תפוקת הקירור שלהן נעה בד"כ בטווח 2-15 קילוואט, וניתן להתקינן בבניינים קיימים ללא צורך בתכנון מראש. במהלך 20 השנים האחרונות חל שיפור מתמשך בביצועי מערכות יחידתיות: מקדם הביצוע (COP) יותר משהוכפל (מערך ממוצע של 1.6 עד כדי 3.3 כיום); רמת הרעש הוקטנה במידה ניכרת; שופר העיצוב והוכנסו לשימוש שלטים אלקטרוניים לבקרה מרחוק; לאחרונה הוכנסה לשימוש מערכת בקרת עומס המבוססת על שינוי מהירות סיבוב המדחס, המאפשרת בקרה רציפה במקום בקרת on-off שהייתה מקובלת שנים רבות – נושא בעל משמעות רבה לשיפור בביצועים העונתיים (seasonal COP) וחיסכון בחשמל.

מערכות מרכזיות מותקנות בבניינים גדולים, ציבוריים ומסחריים, ודורשות תכנון מראש, בד"כ כחלק מתכנון הבניין. יתרון העיקרי בהרחקת החלקים המכאניים מן החלל הממוזג, ומתן אפשרות לבקרה נפרדת של טמפרטורה, לחות ואוויר צח, דבר המאפשר מיזוג אוויר איכותי יותר מזה של מערכות יחידתיות. תפוקת הקירור שלהן נעה בין 100 טון קירור עד כדי מספר אלפי טון קירור. מערכת מרכזיות מאופיינות במספר דרכים: לפי שיטת העברת הקור מחדר המכונות אל החלל הממוזג – באמצעות אויר קר (air systems) או מים קרים (water systems); לפי שיטת סילוק החום מן המעבה לסביבה – קירור ע"י אוויר או קירור ע"י מים; ולפי שיטות בקרה שלא כאן המקום לפרטן. הנושא של קירור אוויר לעומת קירור מים עולה מידי פעם בהקשר הסביבתי: מערכות המצוידות במגדל קירור מים מאפשרות טמפרטורת מעבה נמוכה יותר מאשר מערכות מקוררות אוויר, ולכן מאפשרות COP גבוה יותר וחיסכון בחשמל; לעומת זאת, הן צורכות מים וטיפול במים, וגם מייצרות תמלחות היוצרות עומס סביבתי. עקב כך הוציא מנכ"ל משרד איכות הסביבה חוזר בו מתנגד המשרד לשימוש במערכות מיזוג אוויר המבוססות על מגדלי קירור מים.

האלמנט מייצר הקירור בכל מערכת מיזוג אוויר מרכזית הוא המצנן (chiller), שהינו לב לבה של המערכת, ופועל לרוב במחזור דחיסת אדים (vapor compression) ע"י מדחס וקרר (refrigerant) המוכר בשמו המסחרי – פריאון (Freon). כפי שיוסבר בהמשך, לשימוש בקררים המכילים תרכובות כלור ופלואור השפעה על שתי תופעות גלובליות- התחממות ופגיעה באוזון וקיים כיום מאמץ עולמי להפחית השימוש בקררים אלה.

במערכות מרכזיות קטנות ובינוניות מקובל השימוש במדחסי בוכנה או במדחסים בורגיים, ואילו במערכות גדולות רווח השימוש במדחסים צנטריפוגליים.

המדד ליעילותה של מערכת מיזוג אוויר הוא מקדם הביצוע (Coefficient of Performance) או בקיצור COP. גודל זה, הנקרא גם "ספרת הספק", מגדיר את היחס בין תפוקת הקירור להספק הנצרך. יש להבדיל בין מקדם ביצוע נומינלי (nominal COP) לבין מקדם ביצוע עונתי (seasonal COP). ערכים מקובלים כיום למקדם ביצוע נומינלי, לפי נתוני היצרן, במערכות מיזוג אוויר יחידתיות (שרובן ככולן פועלות במחזור דחיסת אדים) עומדים על 3.2-3.3. ערכים כנ"ל למערכות מרכזיות הפועלות במחזור דחיסת אדים מגיעים ל-4-5.5 עם קירור אוויר, ועד 7

עם קירור מים. בפועל, הביצועים המושגים נמוכים יותר. מקדמי ביצוע למצננים עם עיבוי אויר הם בסדרי גודל של 2.2 עד 3 בלבד בעומס מלא. ערכי IPLV (Integrated Part Load value) לנ"ל הם בסביבות 4 עד 5. מקדמי ביצוע למצננים עם עיבוי מים הם בסדרי גודל של 4.5 עד 5 בעומס מלא ליחידות בורגיות, 5.5 עד 6 ליחידות צנטריפוגליות. ערכי IPLV לסוגים הנ"ל של המדחסים הם בסביבות 6-7 ליחידות השונות. בתפוקות חלקיות מקדמי הביצוע עולים, כיוון שהמדחסים שעובדים פועלים מול מאיד גדול וספיקה גבוהה, ואז במצננים בורגיים מקדם הביצוע יכול לעלות בסביבות 20%-10%. כל זאת - בתנאי עבודה נומינליים המקובלים לפי ARI (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers) או ASHRAE (American Refrigeration Institute) שהם מים חוזרים 12 מ"צ ומסופקים 7 מ"צ, טמפ' סביבה של 35 מ"צ ליחידות עם עיבוי אויר, ומי מעבה כניסה/יציאה 35/30 מ"צ ליחידות עם מעבה מים. יש להדגיש שעבור יחידות עם עיבוי מים שעבורם ערכי COP גבוהים, נצרכת אנרגיה נוספת במגדל הקירור ובמשאבות המים למעבה. אלה לא באים לידי ביטוי במקדם הביצוע.

ערכי ה-COP המינימאליים הנדרשים נקבעים עפ"י תקני משרד התשתיות הלאומיות ומכון התקנים אך הם רלוונטיים למזגנים יחידתיים בלבד. הערכים המוגדרים בתקן הישראלי ע"י מכון התקנים נמדדים בתנאים מבוקרים וסטנדרטיים. עם זאת, הביצועים בשטח משתנים בהתאם למיקום הגיאוגרפי של האתר הממוזג (מישור החוף, שפלה, הר וכו'), סביבת ההתקנה של הציוד ומאפייני הפעילות.

ערכי ה-COP של ציוד מיובא מארה"ב מוגדרים בהתאם לדרישות מוסדות העוסקים בתקינה אנרגטית. הערכים מוגדרים הן למזגנים יחידתיים והן למתקנים מרכזיים.

צריכת החשמל (לפי נתוני חברת החשמל, לא כולל שימוש מייצור עצמי) גדלה בעקביות מעבר לשיעור הגידול הטבעי באוכלוסייה. גורם מרכזי לכך הוא הגידול בצריכת קירור ומיזוג אוויר.

שיא הביקוש לחשמל עבר מן החורף אל הקיץ, ונגרם עקב השימוש במיזוג אוויר, בעיקר במגזר התעשייתי והעסקי. בשעות השיא (שעות הצהריים של חודשי הקיץ) ההספק למיזוג אוויר מגיע לכדי- 40% משיא הביקוש הכולל.

המלצות:

המלצות הפורום כוללות טווח רחב של נושאים אשר בהם אפשר להשפיע ובאמצעותם ניתן להשיג שני יעדים: **חיסכון בצריכת האנרגיה והסטת עומסים משעות השיא**. לאור זאת, הפורום ממליץ על מכלול פעולות **משולבות**, כאשר מוסכם כי ככל שהיישום ייעשה בצורה כוללת יותר, האפקטיביות שתושג תהיה משמעותית יותר:

1. **חינוך לחיסכון**. החינוך לשימוש מושכל ולתחזוקה הולמת של מערכות מיזוג האוויר חוצה ארגונים וחוצה קהלים. פעולות לחינוך ציבור המשתמשים עולות יחסית מעט ועשויות להביא לתוצאות משמעותיות בזמן קצר. יש להחדיר את נושא החיסכון לתודעת הציבור הרחב ובמקביל ליצור תרבות ארגונית של חיסכון אצל גופים מוסדיים. לצד הצורך במודעות להרחקה ולצמצום מקורות פולטי חום בחללים הממוזגים, יש צורך בחינוך לכיוון טמפרטורת המזגן ולכבוי שלו בעת שאינו נחוץ.
2. **תקנים**. הכנת תקנים מפורטים וברורים לשימוש חסכוני במערכות מיזוג אוויר ואכיפתם. יזם שאינו יכול או אינו רוצה לעמוד בתקן, לא יקבל רישיון לבנות. תידרש בדיקה תקופתית של מערכות מיזוג

- קיימות, כפי שהדבר נעשה לגבי מעליות, מתקני הרמה וכדומה, ומערכת שלא תעמוד בתקן – תופסק פעולתה עד לתיקון. הרציונל לדרישות "דרקוניות" כאלה: חיסכון באנרגיה הוא אינטרס לאומי. יש להנפיק "מכסות אנרגיה": ארגון שחורג מהמכסה מנתקים לו לחלוטין את זרם החשמל, או משלם קנס גבוה. ארגון שמצליח לצרוך פחות משנקוב לו - מקבל פרמיה – ראה המלצה 3 להלן.
3. **עידוד ותמריצים כלכליים.** במקביל לאכיפת התקנים יינתן עידוד למי שיתקין ויפעיל מערכות חסכוניות מעבר לדרישות התקן. מתן ערבויות מדינה לפרויקטים, פחת מואץ על מערכות יעילות, הפחתת או ביטול מס קניה על מערכות אלה, והבטחה כי התקציבים המוקצים לפרויקטים אלה יהיו נגישים ופשוטים מבחינת הטפסים והאישורים הביורוקרטיים הנדרשים.
4. **מערכות במתקנים ממשלתיים.** הממשלה צריכה להיות הראשונה לדרוש ולהכניס קריטריונים של יעילות למערכות מיזוג אוויר במכרזים שלה. במוסדות ממשלתיים יהיה ממונה אנרגיה כפי שנדרש כיום בבתי חולים של קופת החולים, אך לא בבתי חולים ממשלתיים.
5. **הכשרת כוח אדם.** יש להכשיר מתקינים, מפעילים ומפקחים ולדרוש הסמכה שלהם והדרכה עיתית על מנת לשמר כוח אדם מקצועי ומעודכן, אשר יבצע התקנות, תפעול ותחזוקה עפ"י מדדים שיוגדרו ע"י משרד התשתיות הלאומיות.
6. **התארגנות גופים ציבוריים.** ניתן לרתום גופים מקצועיים כגון ארגון מהנדסי קירור ומיזוג אוויר, התאחדות התעשיינים, השלטון מקומי, לשכת המהנדסים, ארגון הקבלנים, כדי ליצור מודעות ופעילות חיסכון מלמטה.
7. **הסטת ביקושים.** אחד הפתרונות להסטת ביקושים, בטווח הבינוני והארוך, הוא לעודד הקמת מערכות לאגירת קור ע"י קרח או מים קרים.
8. **חסכון במבנים.**
- 8.1 בטווח המידי ניתן ליישום ע"י הצללת המבנים, התקנת מדי ובקרי טמפרטורה חדשים והתקנת אוטומטים לכבוי מערכות המיזוג.
- 8.2 יישום תקן 1045 ואכיפתו ע"י משרד הפנים באמצעות ועדות התכנון והבניה.
- 8.3 קידום בניה משמרת אנרגיה מעבר לדרישות התקן. כאמור, פורום נפרד יעסוק בעדיפויות וקדימויות בתחום זה.
9. **קירור אוויר לעומת קירור מים.** הקמת צוות מומחים בין-משרדי אשר ינתח, תוך בדיקת מכלול השיקולים, את היתרונות והחסרונות של מערכות מקוררות מים ומקוררות אוויר ובסופו של דבר יציג את המערכות אשר את התקנתן צריכה המדינה לעודד.

1. הקדמה

מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית, במסגרת פעילותו בתחום האנרגיה, מקיים מפגשי "פורום אנרגיה" המוקדשים לדיון בנושאים בעלי חשיבות לאומית בתחום. בפורום האנרגיה מתקיים דיון ממוקד בנושאים מוגדרים, בהשתתפות צוות מומחים המוזמנים לפי הנושא. המטרה היא להתרכז בשאלות רלוונטיות ומוגדרות, לתאם בין הגורמים ולהגיע להמלצות על דרכי פעולה לקידום הנושא, שניתן להציגן בפני מקבלי החלטות.

המפגש הודן בנושא: "אנרגיה במערכות קירור ומיזוג אוויר", התקיים ב-6 לפברואר 2024 באופן מקוון. השתתפו בו מומחים בתחום מהיבטיו השונים, וכן נציגים של הממסד הציבורי. המשתתפים בפורום, שנבחרו בקפידה הודות למומחיותם, מהווים, ללא ספק, קבוצה ייחודית ובעלת ידע מקצועי ראשון במעלה בתחום.

בחלקו הראשון של המפגש הציגו חלק מהמשתתפים מצגות בנושא הדיון על היבטיו השונים. מצגות המשתתפים אשר אושרו על ידם לפרסום נמצאות תחת [מפגש פורום האנרגיה](#) באתר מוסד שמואל נאמן. בחלק השני התקיים דיון פתוח על המידע שהוצג ועל המסקנות האופרטיביות שיש להפיק ממנו.

תמצית הדיונים מסוכמת בדו"ח להלן, וכמו בדיונים הקודמים, הוא יוגש למקבלי ההחלטות במטרה להביא אל סדר היום את מכלול השיקולים, האתגרים וההזדמנויות במערכות קירור ומיזוג אוויר.

2. רקע

מערכות מיזוג אוויר לשימוש בבניינים מתחלקות לשני סוגים עיקריים: מערכות יחידתיות (unitary systems) ומערכות מרכזיות. לסוג הראשון שייכים מזגני חלון, מזגנים מפוצלים ומיני-מרכזיים. אלה מערכות סטנדרטיות המהוות חלק הארי בהתקנות בבתי מגורים ולא מעט גם בבניינים ציבוריים, מסחריים ותעשייתיים. תפוקת הקירור¹ שלהן נעה בד"כ בטווח 2-15 קילוואט, וניתן להתקין בבניינים קיימים ללא צורך בתכנון מראש. במהלך 20 השנים האחרונות חל שיפור מתמשך בביצועי מערכות יחידתיות: מקדם הביצוע (COP) יותר משהוכפל (מערך ממוצע של 1.6 עד כדי 3.3 כיום); רמת הרעש הוקטנה במידה ניכרת; שופר העיצוב והוכנסו לשימוש שלטים אלקטרוניים לבקרה מרחוק; לאחרונה הוכנסה לשימוש מערכת בקרת עומס המבוססת על שינוי מהירות סיבוב המדחס, המאפשרת בקרה רציפה במקום בקרת on-off שהייתה מקובלת שנים רבות – נושא בעל משמעות רבה לשיפור בביצועים העונתיים (seasonal COP) וחיסכון בחשמל.

מערכות מרכזיות מותקנות בבניינים גדולים, ציבוריים ומסחריים, ודורשות תכנון מראש, בד"כ כחלק מתכנון הבניין. יתרון העיקרי בהרחקת החלקים המכאניים מן החלל הממוזג, ומתן אפשרות לבקרה נפרדת של טמפרטורה, לחות ואוויר צח, דבר המאפשר מיזוג אוויר איכותי יותר מזה של מערכות יחידתיות. תפוקת הקירור שלהן נעה בין 100 טון קירור עד כדי מספר אלפי טון קירור. מערכות מרכזיות מאופיינות במספר דרכים: לפי שיטת העברת הקור מחדר המכונות אל החלל הממוזג – באמצעות אוויר קר (air systems) או מים קרים (water systems); לפי שיטת סילוק החום מן המעבה לסביבה – קירור ע"י אוויר או קירור ע"י מים; ולפי שיטות בקרה שלא כאן המקום לפרטן. הנושא של קירור אוויר לעומת קירור מים עולה מידי פעם בהקשר הסביבתי: מערכות המצוידות במגדל קירור מים מאפשרות טמפרטורת מעבה נמוכה יותר מאשר מערכות מקוררות אוויר, ולכן מאפשרות COP גבוה יותר וחיסכון בחשמל; לעומת זאת, הן צורכות מים וטיפול במים, וגם מייצרות תמלחות היוצרות עומס סביבתי. עקב כך הוציא מנכ"ל משרד איכות הסביבה חוזר בו מתנגד המשרד לשימוש במערכות מיזוג אוויר המבוססות על מגדלי קירור מים.

האלמנט מייצר הקירור בכל מערכת מיזוג אוויר מרכזית הוא המצנן (chiller), שהינו לב לבה של המערכת, ופועל לרוב במחזור דחיסת אדים (vapor compression) ע"י מדחס וקרר (refrigerant) המוכר בשמו המסחרי – פריאון (Freon). כפי שיוסבר בהמשך, לשימוש בקררים המכילים תרכובות כלור ופלואור השפעה על שתי תופעות גלובליות- התחממות ופגיעה באוזון וקיים כיום מאמץ עולמי להפחית השימוש בקררים אלה.

במערכות מרכזיות קטנות ובינוניות מקובל השימוש במדחסי בוכנה או במדחסים בורגיים, ואילו במערכות גדולות רווח השימוש במדחסים צנטריפוגליים.

ביצועי מערכות מיזוג אוויר

¹ תפוקת קירור נמדדת ביחידות הספק וניתנת כאן בקילוואטים (kW). בתעשיית מיזוג האוויר מקובל להשתמש ביחידות אלטרנטיביות: טון קירור (TR) השווה בקירוב ל-3.5 קילוואט, או BTU/h (TR=12,000 BTU/h).¹

המדד ליעילותה של מערכת מיזוג אוויר הוא מקדם הביצוע (Coefficient of Performance) או בקיצור COP. גודל זה, הנקרא גם "ספרת הספק", מגדיר את היחס בין תפוקת הקירור להספק הנצרך. יש להבדיל בין מקדם ביצוע נומינלי (nominal COP) לבין מקדם ביצוע עונתי (seasonal COP).

ערכים מקובלים כיום למקדם ביצוע נומינלי, לפי נתוני היצרן, במערכות מיזוג אוויר יחידתיות (שרובן ככולן פועלות במחזור דחיסת אדים) עומדים על 3.2-3.3. ערכים כנ"ל למערכות מרכזיות הפועלות במחזור דחיסת אדים מגיעים ל-4-5.5 עם קירור אוויר, ועד 7 עם קירור מים. בפועל, הביצועים המושגים נמוכים יותר. מקדמי ביצוע למצננים עם עיבוי אוויר הם בסדרי גודל של 2.2 עד 3 בלבד בעומס מלא. ערכי IPLV (Integrated Part Load Value) לנ"ל הם בסביבות 4 עד 5. מקדמי ביצוע למצננים עם עיבוי מים הם בסדרי גודל של 4.5 עד 5 בעומס מלא ליחידות בורגיות, 5.5 עד 6 ליחידות צנטריפוגליות. ערכי IPLV לסוגים הנ"ל של המדחסים הם בסביבות 6-7 ליחידות השונות. בתפוקות חלקיות מקדמי הביצוע עולים, כיוון שהמדחסים שעובדים פועלים מול מאייד גדול וספיקה גבוהה, ואז במצננים בורגיים מקדם הביצוע יכול לעלות בסביבות 10%-20%.

כל זאת - בתנאי עבודה נומינליים המקובלים לפי (American Refrigeration Institute) ARI או (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers) ASHRAE

שהם מים חוזרים ב-12 מ"צ ומסופקים ב-7 מ"צ, טמפ' סביבה של 35 מ"צ ליחידות עם עיבוי אוויר, ומי מעבה כניסה/יציאה 35/30 מ"צ ליחידות עם מעבה מים. יש להדגיש שעבור יחידות עם עיבוי מים שעבורם ערכי COP גבוהים, נצרכת אנרגיה נוספת במגדל הקירור ובמשאבות המים למעבה. אלה לא באים לידי ביטוי במקדם הביצוע.

ערכי ה-COP המינימאליים הנדרשים נקבעים עפ"י תקני משרד התשתיות הלאומיות ומכון התקנים אך הם רלוונטיים למזגנים יחידתיים בלבד. הערכים המוגדרים בתקן הישראלי ע"י מכון התקנים נמדדים בתנאים מבוקרים וסטנדרטיים. עם זאת, הביצועים בשטח משתנים בהתאם למיקום הגיאוגרפי של האתר הממוזג (מישור החוף, שפלה, הר וכו'), סביבת ההתקנה של הציוד ומאפייני הפעילות.

ערכי ה-COP של ציוד מיובא מארה"ב מוגדרים בהתאם לדרישות מוסדות העוסקים בתקינה אנרגטית. הערכים מוגדרים הן למזגנים יחידתיים והן למתקנים מרכזיים.

מיזוג אוויר ומשק החשמל בישראל

צריכת החשמל (לפי נתוני חברת החשמל, לא כולל שימוש מייצור עצמי) גדלה בעקביות מעבר לשיעור הגידול הטבעי באוכלוסייה. גורם מרכזי לכך הוא הגידול בצריכת קירור ומיזוג אוויר.

שיא הביקוש לחשמל עבר מן החורף אל הקיץ, ונגרם עקב השימוש במיזוג אוויר, בעיקר במגזר התעשייתי והעסקי. בשעות השיא (שעות הצהריים של חודשי הקיץ) ההספק למיזוג אוויר הינו כ-40% משיא הביקוש הכולל!

3. מידע: אנרגיה במערכות קירור ומיזוג אוויר

בחלק זה של הדו"ח ניתנת תמצית המידע שהוצג על ידי חלק מן המשתתפים, כל אחד לפי בחירתו ומומחיותו. קבצי המצגות שהוכנו על ידי הדוברים מוצגים, תחת [מפגש פורום האנרגיה](#), באתר מוסד שמואל נאמן. מטבע הדברים, קיימת חפיפה מסוימת בין הדוברים השונים, אולם עורכי הדו"ח החליטו להביאם כאן כפי שהוצגו ובאותו הסדר (ראה תוכנית הפורום בנספח 1). מידע זה חשוב ומהווה בחלקו בסיס לדיון הפתוח שהתקיים לאחר מכן, כפי שמובא בפרק 4.

מר רפי אהרוני - אסא אהרוני מהנדסים יועצים בע"מ

כשלים במערכות קירור ומיזוג אוויר - יעילות אנרגטית וכוח אדם

ישראל היא מדינה לא יעילה אנרגטית.

סטטוס נוכחי – בישראל מבנה משרדים ממוצע צורך בסביבות 200-300 וואט למטר מרובע כאשר הערך המקובל לאקלים הים תיכוני הוא פחות מ-100 וואט למ"ר.

לפער הזה יש סיבות רבות. ל-100 וואט או 200 וואט למ"ר יש השפעה לדעתי מאוד כבדה על משק האנרגיה של מדינת ישראל, ובסופו של דבר על הרבה דברים נוספים כגון איכות הסביבה. זה נובע מכך שהתקינה שלנו היא תקינה ישנה, שמבוססת על תקן 1045 ובאופן חלקי על תקני הבניה הירוקה. תקן הבידוד התרמי למבנים, זהו התקן המוביל, והינו תקן שלא התעדכן שנים רבות. לשמחתנו, הכניסו בשנים האחרונות את הבנייה הירוקה כחובה. זה משפר את הבידוד במבני מגורים. במשרדים, זה תקן פחות מחמיר. אם הולכים לתקנים הזרים אז בסוף מתייחסים לתקנים של ASHRAE90- אבל עדיין, זה לא דומה לתקנים שיש בעולם המערבי.

באירופה יש תקנים שהם יותר מחמירים. באירופה אף אחד לא בונה בניין בלי קיר כפול וחלונות כפולים. גם הדרישות לאיטום בניינים אצלנו הן יחסית נמוכות.

מעט מאוד בניינים בישראל הולכים על תקינה ירוקה גבוהה. בדרך כלל כדי לקבל דירוג גבוה של תקינה ירוקה צריך לספק מערכות יעילות אנרגטית - גם מבנה יעיל וגם מערכת אנרגטית יעילה (מערכת מיזוג אוויר מהווה - 60-80% מצריכת החשמל של הבניין, ולכן יש פוטנציאל גדול לחיסכון ברמה הלאומית)

דרישה להגשת אפיון תרמי במסגרת היתר בניה - בעולם המערבי, מגישים חישובים תרמיים. זו דרישה שאינה קיימת בישראל, דרישה שאולי רצוי להוסיף.

אפשר אולי ליצור תמריץ שלא קיים היום, של דירוג מבנים (3 כוכבים, זהב וכו').

גודל החיבור של חברת החשמל – אין מגבלה לקבלת הזנה מחברת החשמל. היא נותנת מה שמבקשים, (2 מגה וואט, 4 מגה וואט, 8 מגה וואט) ... אין שום קנס על גודל החיבור.

אין הערכת עלות על משק האנרגיה ל"התפרעות האנרגטית". מרבית המבנים נבנים להשכרה ואין לבעלי הנכס (לקבלנים וליזמים) אינטרס לצמצם צריכה, הם מרוויחים מהצריכה. הם קונים חשמל במתח ביניים או מתח גבוה, תלוי בפרויקט, והם מוכרים במתח נמוך, כך שיש להם רווחיות של 20%. אין להם עניין ביעילות אנרגטית בבניינים שלהם, זה לא האינטרס שלהם.

ידע הנדסי שנעלם לאיטו – המומחים שמכירים ועובדים בתחום, הולכים ונעלמים; רואים רמה יותר נמוכה של הנדסה

שכר תכנון – השכר אינו מעודד יצירתיות; כשמתכננים פרויקט, לא שואלים מה הפתרון האנרגטי, אלא מה השכר שדורש המתכנן.

הנושא הבא שאדבר עליו הוא:

נושא כוח אדם – חוסר בהכשרה של מהנדסי דור העתיד: המצב הנוכחי והצעדים שנקטים לשיפורו:

בישראל חסרים מהנדסים מכל הסוגים, חסרים מהנדסי מכונות וספציפית חסרים מהנדסי אנרגיה שמתמחים בתחום מיזוג אוויר.

מרבית האוניברסיטאות חדלו ללמד קורסי מיזוג אוויר (נשאר קורס רק באוניברסיטת אריאל).

הקורסים הללו מופיעים בסילבוסים של כל האוניברסיטאות אבל לא מלמדים בפועל את הקורסים האלו, כי אין עניין מצד הסטודנטים. מרבית מהנדסי המכונות עוברים לתעשיית ההייטק ואינם מגיעים כלל לתחום הנדלן/בינוי.

החוסר הוא אדיר, ולא מצליחים לגייס כוח אדם מתאים, לכן ננקטים צעדים שונים, כגון קורס של 80 שעות שמתקיים פעמיים בשנה באגודת מהנדסי מיזוג האוויר שמיועד להשלמת הידע לאנשים שעוסקים בתחום. בנוסף קיים במסגרת האגודה הנ"ל גם קורס חדש למערכות קירור וגם ואינסטלציה.

לאחר מאבק ארוך, הצלחנו לשכנע שיתחוו ברשם המהנדסים מדור חדש הנקרא "מיזוג אוויר וקירור" הרושם את מהנדסי מיזוג האוויר ברישום ורישוי נפרד. עדיין אין הסכמה לגבי ייחוד פעולות (חוק המהנדסים - זהו מונח משפטי שמגדיר למי מותר לעשות מה, למהנדסים ולהנדסאים).

רשות הכיבוי אימצה דרישות לאישורים השונים – ע"י מהנדס מיזוג אוויר רשום בלבד. תקן 1001 המעודכן (טרם פורסם) מגדיר דרישה למהנדס רשום. (קיימים כנראה כבר עשרות רבות של מהנדסים עם תעודה כזו), ואנו מקווים שאולי זה יצור מוטיבציה קצת יותר גדולה לתחום הזה.

הצורך בכוח אדם מוסמך והתהליכים המוצעים לשינוי המצב:

הכשרת כוח אדם צעיר ומיומן הינו תנאי לשינוי המצב; אנחנו צריכים לשפר את התקינה ותהליכי הרישוי גם באמצעות התקנות של היתרי הבנייה וגם בהגדרות של ייחוד פעולות.

אנחנו צריכים לעשות שימוש בכנסים, כלים, תקנים וידע שמגיע מהארגונים הבינלאומיים כמו ASHRAE צריך שיהיה סבסוד ממשלתי לפרויקטים יעילים אנרגטיים, לדוגמא הנחות בתעריפי החשמל או השתתפות בעלויות הקמה כך שלבעלי נכסים של מבני שכירות יהיה אינטרס לשפר את היעילות האנרגטית.

אני מציע גם לקיים תחרות לאומית ומתן פרסים לפרויקטים יעילים במיוחד, וליצור מודעות לנושא.

לסיכום:

- נדרש להכשיר דור מהנדסים צעיר ומיומן.
- נדרש לשפר את התקינה והחקיקה בישראל ולדרוש הגשת ניתוח תרמי לכל פרויקט.
- נדרש לקיים תוכנית ממשלתית הכוללת מקל וגזר – הטבות לפרויקטים יעילים וקנסות לצרכני אנרגיה סגולית גבוהה מדי.

פרופ' גרשון גרוסמן – שאלה לגבי הקורס של התאחדות המהנדסים: מי האנשים שלוקחים את הקורס הזה?
רפי אהרוני: כמה מילים על הקורס: הוא ניתן בהתנדבות על ידי יותר מ-10 מרצים שונים, כל אחד מהמרצים מביא נקודת הסתכלות אחרת וזה מאוד מיוחד. יש ביניהם מהנדסי תכנון וגם מהנדסי ביצוע, מנהלי פרויקטים וספקים של ציוד. דרישות הקדם של הקורס הן מאוד מינימליסטיות.
מי שמגיע לקורס הם עובדים במשרדי תכנון, מהנדסים צעירים, אפילו ספקים, הנדסאים שמגיעים ממקצועות כגון אדריכלות; זה מכניס אותם יותר מהר לפרקטיקה של המקצוע. רואים גם מהנדסי פיתוח שעובדים בשטח ואין להם שום הכשרה. רואים בקורס גם מפקחים ומנהלי פרויקטים וגם אנשים אחרים שמגיעים ממשרדי ממשלה או רשויות מקומיות. אני ספציפית נותן שם הרצאה על טכנולוגיות חדשות ועל צמצום או התייעלות אנרגטית.
דלית ברטל: יש לי הערה ביחס לחלק של מה שרפי אהרוני אמר לגבי ההגזמות בנושא גודל החיבור. עשינו בדיקה אחורנית לבדוק בעצם מה היה שיא הביקוש במבנים ציבוריים בכל מיני מקומות בארץ וראינו שאם הביקוש הכי גבוה עמד על 3.2 מגה וואט, אז שיא הביקוש בפועל שנמדד לאורך כמה שנים, עמד על מגה וואט אחד. בכמה מבנים גודל החיבור היה גדול ב-45% יותר ממה שנמדד בפועל. בעצם רואים שבסיס התכנון הוא מוגזם (רזרבות על רזרבות) וכך מגיעים למערכות מנופחות. וכמו שרפי אהרוני אמר, אין שום קנס על החיבור הזה.
אדי בית הזבדי: אני רוצה לציין שלפני כ-25 שנים ניסיתי להעלות את הנושא הזה במשרד האנרגיה ודרשתי שהחיבור לא יהיה יותר גדול מ-80% ממה שדרוש; וכמעט פיטרו אותי מהמשרד.

מר יוני מלאכי: מנכ"ל משב-ארדן מערכות

יישומים של קררים חדשים והשלכותיהם

אני אדבר על הקררים של ה-HFO (Hydrogen-Fluorine-Olefin) כאשר המטרה שלי היא להראות שנוצר איזה כשל של אי מתן מענה ל Drop in לקררים מסוג R507A ו-R410A, דהיינו ה-HP Refrigerants.
ההרצאה מבוססת תעשייה בעיקר, ואלו הנושאים של ההרצאה: מה מניע את התעשייה הזו קדימה, התרכובות של הקררים, ויישומים של קררים מסוג HFO.

הכוחות המניעים של התעשייה:

מה שאנחנו רוצים לקבל מקרר זה שלושה דברים: התייעלות אנרגטית, עמידה ברמות בטיחות ו-Lower GWP, כל שלושת הגורמים הללו מגובים בתקנות ובחוקים בינלאומיים, (יש תקנות בינלאומיות של ASHRAE והאו"ם) אלו תקנות מחייבות, בעיקר בבטיחות ו-Lower GWP.

מדינת ישראל החלה בהפחתה של מכסי היבוא על סוגי הקררים האלה. (יחד עם רפי אהרוני אנחנו חברים בצוות ההיגוי של איגוד מהנדסי החשמל והאנרגיה). אנחנו גוף שמוביל את העמדה מול נציבות המדינה. הדבר האחרון שאני רוצה לומר, והוא לא מגובה בשום תקנות, הוא שיש עניין שהמערכת צריכה להיות אפקטיבית מבחינה כלכלית, זהו אחד משלושת עמודי התווך של הקיימות- כלכלה, סביבה, בטיחות.

Refrigerant Cycle Efficiency

מעדיפים קרר עם Lower GWP נמוך כמה שאפשר.

Refrigerants Compositions

התחילו מ-CFC שפוגעים באוזון ובנוסף יש להם אפקט חממה גבוה במיוחד, עברו ל-HFC שאינם פוגעים באוזון, אך בעלי אפקט חממה גבוה, ובשלב האחרון עברו ל-HFO – סדרת קררים חדשה- ידידותיים לסביבה אך חלקם בעלי רמת בטיחות – A2L קררים דליקים במעט.

בטיחות: לבטיחות יש 2 מרכיבים: A, B. A זה לא רעיל, B זה רעיל. המספרים הם 1-3 (מלא דליק ועד דליק ביותר). אנחנו רואים שיש לנו תחלים הולם מסדרת HFO ל-Drop in לקררים ממשפחת הלחץ הנמוך (לדוגמא-R11, R123) והבינוני (לדוגמא R12, R134a), אך טרם נמצא תחליף הולם מסדרת HFO ל-Drop in לקררים ממשפחת הלחץ הגבוה (לדוגמא R22, R410A, R507A).

מר אליעזר פרוכטר - Scitherm LTD

שימוש בצינור חום במערכות מיזוג אוויר

אני מעלה את הנושא הזה מאחר ולא פגשתי בארץ שימוש בצינור חום במערכות מיזוג אוויר.

מאז שפרשתי מרפא"ל ביצעתי מעל 120 סקרי אנרגיה, ולא נתקלתי בשום מקום בשימוש בצינורות חום. אני מעלה את הנושא, כי במסגרת הסקרים שלי ביקרתי בהרבה מפעלים בהם חדרים נקיים, בהם שימוש רב באוויר חוץ הדורש בקרת טמפרטורה ולחות.

בטיפול האוויר בחדרים הנקיים קיימים ארבעה תהליכי זוללי אנרגיה:

- החלפות רבות של אוויר חוץ
- קירור וייבוש אוויר
- חימום חוזר של האוויר לטמפרטורה הנדרשת

יתרונות השימוש בצינור חום:

- חוסך באנרגיית הייבוש והחימום החוזר
- התהליך הוא פסיבי, משמע לא נצרכת אנרגיה.
- מחיר נמוך ואורך חיים של 20 שנה.

כיצד פועל צינור חום:

צינור חום נועד להעביר חום ביעילות ממקום אחד לאחר, בדרך כלל בצורה קומפקטית וחסכונית. צינורות החום פועלים על העיקרון של העברת חום בשינוי פאזה. צינור החום הינו צינור אטום המכיל את נוזל העבודה כגון מים או נוזל קירור. הנוזל מתאדה בצד קבלת החום (המאדה) ומתעבה בצד מסירת החום (המעבה).

צינורות חום עשויים לרוב מחומרים כמו נחושת או אלומיניום בשל המוליכות התרמית המעולה שלהם. הם אטומים כדי למנוע את בריחת נוזל העבודה.

צינורות חום נמצאים בשימוש נפוץ ביישומי ניהול תרמי כגון קירור אלקטרוני, מערכות HVAC, יישומי תעופה וחלל ועוד.

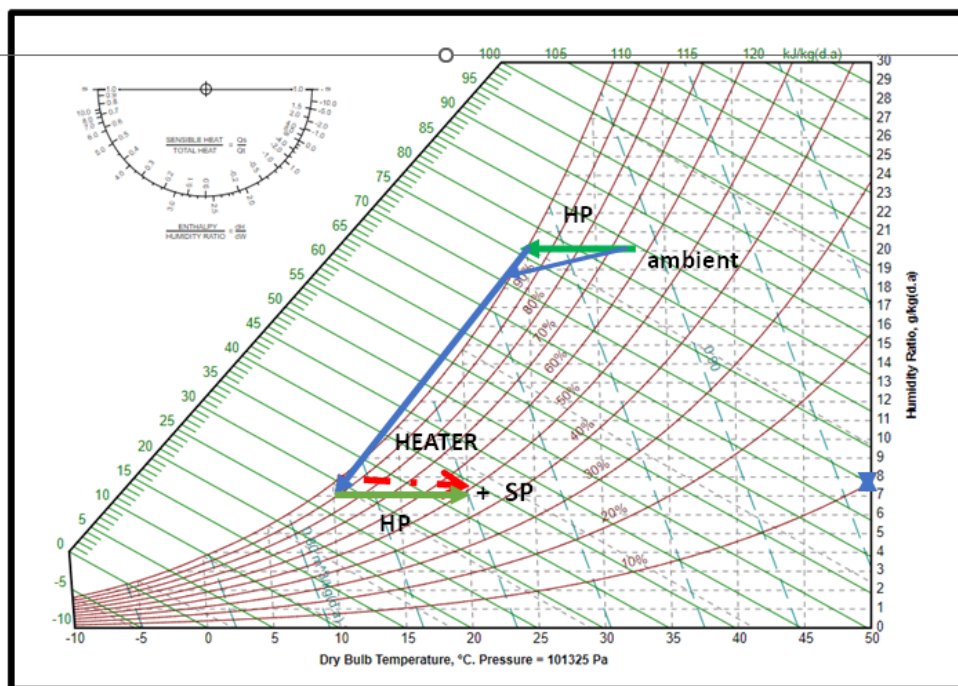
יישום במערכות מז"א

ביחידות טיפול האוויר (יט"א) צח, סלילי צינור החום עוטפים את סלילי המים המקוררים של היט"א. האוויר החיצוני נכנס לסלילי מאדה צינור החום, שם מקורר קירור ראשוני. לאחר מכן עובר קירור נוסף ועיבוי ע"י סלילי המים הקרים ביט"א. האוויר הקר היוצא מהיט"א מחומם ע"י החום הנצבר בצינור החום.

בדיאגרמה הפסיכרומטרית החיסכון באנרגיה מוצג ע"י החיצים בצבע ירוק שמייצגים קירור חלקי של האוויר הנכנס לנחשון הקירור וחימום חוזר של האוויר שיוצא מהנחשון.

טבלה 1

דיאגרמה פסיכרומטרית עם בלי צינור חום



4. דיון

לאחר מצגות המשתתפים התקיים דיון פתוח על המידע שהוצג, ועל המסקנות האופרטיביות שיש להפיק ממנו.

הדיון התמקד בשאלות הבאות:

•מה ידוע על המצב כיום לגבי מערכות מיזוג אוויר חסכוניות באנרגיה בישראל?

•מהם הצעדים שעל הממשלה לנקוט כדי לעודד החדרת מיזוג אוויר חסכוני בישראל?

•מה ניתן ללמוד על מערכות מיזוג וקירור חסכוניות באנרגיה מן הנעשה בעולם?

•השוואה בין שתי שיטות עיבוי: מגדלי קירור לעומת מעבי אוויר, כולל עלות רכישה והתקנה, תחזוקה, שטח התקנה נדרש, צריכת אנרגיה, עלות שימוש וכו'.

דברי המשתתפים מובאים כאן בסדר בו נשמעו וללא עריכה, לאחר שעברו ביקורת על ידי אומריהם.

איציק יונסי:

אני מבקש לציין כי אשמח אם הפורום יחזור להיות במפגשים פיזיים; יש ערך למפגשים הפיזיים ולשיחות הסמול טוק ולחיבורים בין המשתתפים.

ברשותכם אני רוצה לגעת בשתי נקודות, כמי שמייצג את משרד האנרגיה. אני מברך על הפורום הזה וברור לכל מי שאחראי על התחום של חיסכון באנרגיה שהמקום שבו ישראל יכולה להביא בשורות באנרגיה, זה בעולם האקלום, מיזוג וקירור. עיקר צריכת החשמל של מדינת ישראל מושקע בתחומים האלה. עולם התאורה, בין אם בפנים או בחוץ, עשה קפיצת דרך מרשימה בשנים האחרונות במעבר לתאורת LED, והמעבר של מערכות מיזוג אוויר למערכות יותר ויותר יעילות באנרגיה היא לא פחות מרשימה. כשאני מסתכל על מערכות מיזוג אוויר, כולנו פה דיברנו על מערכות מיזוג אוויר בהיבט של קירור; הייתי שמח שהשיח יהיה גם על מערכות מיזוג אוויר בהיבט של חימום ועל המעבר לדקרבוניזציה, ואחד האמצעים הטובים ביותר לדקרבוניזציה היא צמצום השימוש בדלקים פוסיליים במדינת ישראל ומעבר למערכות חימום מבוססות חשמל בדגש על מערכות אקלום מבוססות. מחיר הדלקים עלה, יש מס פחמן שעתידי לעלות ולייצר השפעה ועדיין אנחנו כמדינה ואתם כמתכננים של מערכות, צריכים גם להתייחס למערכות מסוג זה, החל מהרמה הדירית ועד למערכות חימום איפה שאפשר, במפעלים ובתעשייה (אם זה דודי קיטור חשמליים, במערכות חימום תעשייתיות ומשאבות חום לחימום מתחמים עתירי אנרגיה).

אני מזכיר שעדיין במדינת ישראל 2024, תקנון התכנון והבנייה מחייבות הכנה של תשתית של מערכת חימום דירית שמבוססת על מערכות ותנורי גפ"ם. הייתי שמח אם תמונת המצב הזו הייתה מתהפכת והיינו רואים יותר ויותר פרויקטים שמבוססים על משאבות חום, וודאי משאבות חום שמבוססות על הקררים החדשים שהציג פה בפורום רפי אהרוני.

מהצד שלנו כמשרד האנרגיה עשינו שינוי לכיוון אימוץ הרגולציה האירופית שהתחיל לפני כ-3 שנים, בשנת 2021. בעצם העברנו תיקון לחוק מקורות אנרגיה, שבעצם הלך ופתח מסלול ייבוא חדש לישראל (הן של מזגנים והן של קררים). בעולם המיזוג אנחנו נצמדים לרגולציה האירופית בהיבטים של יעילות אנרגטית. ביוני 2023 ביטלנו את התקנות שאפשרו מסלול ייבוא לפי העולם הישן, את אותם שיטות יבוא שהיו נהוגות בעבר לאותם מוצרי חשמל (כגון מכונות כביסה, תנורים, מייבשים ובין היתר גם מזגנים) ולמעשה אפשרנו מהיום רק את המסלול האירופי לגבי יבוא של מזגנים, והחל מיוני 2024 שיטת היבוא של מזגנים לישראל תהיה אך ורק על פי חוקיות היבוא האירופי. אנחנו כרגע עושים עבודה שהשינוי אותה עם פרוץ המלחמה, וועדה שיש בה לא מעט בעלי עניין

שנמצאים כאן בפורום והוועדה מלווה על ידי יואב שאולי ואברי שכטר שמלווים אותנו לגבי התקנות של הקררים שעדיין תקפות בישראל, במטרה לנסות ולהביא לביטול התקנות הישראליות הישנות, ליבוא מוצרים על בסיס יעילות אנרגטית (התקנות משנת 2013) ואימוץ מלא של הרגולציה האירופית לעניין ההתייעלות באנרגיה.

הייתי שמח לשמוע, ואני מבין שיש פה בפורום הסכמה על כך שחסר מספיק ידע, וצריך לדבר על החוסרים בידע. הייתי שמח להרחיב מעבר לגבולות של הדיון בפורום הזה, שנוכל להעמיק בנושא של ההכשרות הנדרשות מבעלי המקצוע לגבי השימוש בקררים חדשים, לא רק מבחינת בטיחות, אלא גם מבחינת המכניקה, היעילות, הלחצים וכו'. כן צריך כבר לדבר על מעבר לגזים מאתגרים יותר – על מעבר מ-R32 ל-R290 ולראות איך אנחנו מהר מאוד מיישמים קו עם הרגולציה המובילה בעולם, ארה"ב ואירופה להתאמה למערכות קירור עם הקררים החדשים.

איציק רומנו:

יש לנו בכל רגע נתון בניינים חדשים שמוקמים בטכניון. לצערי אני רואה עדיין בניינים שנבנים מבחינה של התייעלות אנרגטית בצורה לא נכונה, לא בגלל התכנון של החשמל או תכנון מערכות מיזוג האוויר, אלא בגלל שזה קשור לנושא של התייעלות אנרגטית במובן הרחב של הנושא ולכל מה שקשור לנושא של בנייה ירוקה. מהנדסי מערכות מיזוג האוויר יודעים לעשות את העבודה, אבל משום מה אין מי שיתכלל את הכל. יש תקינה, אבל עדיין לא נצמדים אליה. אם תהיה תקינה מחייבת, אז המבנים יצטרכו לעבור בדיקה או אישור של בנייה ירוקה מתאימה והיו מחויבים לעמוד ברמות מסוימות. אם יהיה ליווי של מומחה בתחום הזה מהיום הראשון של תכנון הבניין, זה יראה לגמרי אחרת. בניינים חדשים מוקמים היום בזוויות לא נכונות וגוזרים על הבניין כ-20% יותר צריכת אנרגיה לאורך כל חייו. זה ידרוש הקניית ידע, ואז האקדמיה תוכל להרים את הכפפה ולהכין אנשים שיהיו מוכנים לכך. יהיה פה גם מרכיב נוסף, כי אולי בניינים לא יוכלו לקבל את האישורים הנדרשים כמו ששירותי כבאות לא מספקים אישור לבניין אם לא נעשה שימוש בתקן מינימלי. יהיה פה אלמנט של מקל וגזר ויכולת לאכוף את התהליכים. זה צריך לרדת מלמעלה למטה. נכון להיום הידע קיים, אבל אנשים לא הולכים ללמוד את זה (כגון בנייה ירוקה, כי אין אינטרס אמיתי). משרד האנרגיה צריך גם לתמרץ יותר החלפות של קררים וכדומה.

יוני מלאכי:

אני רוצה לדבר על הנושא של ההכשרות והרצאות. במסגרת ההתאחדות של מהנדסי החשמל האנרגיה יש תא מאוד פעיל של מהנדסי מיזוג אוויר ואנרגיה. אשמח מאוד אם תצטרפו לפלטפורמה הזו של התאחדות מהנדסי החשמל והאנרגיה במפגשי זום. יש לנו מפגש בשבוע הבא בנושא מערכות מיזוג אוויר ואנרגיה במגדלים גבוהים (כגון מגדלים בתל אביב שכבר מתקרבים ל-100 קומות) והוא יכיל מס' הרצאות רלוונטיות, כגון טכנולוגיות בנות קיימא במגדלים. אשלח לכם גם הזמנה למפגשים הבאים שלנו.

לגבי נושא ההכשרות. - הקורס שלנו מתאים למהנדסי מכונות. בחברת "משב", אנחנו מכשירים כל מהנדס ביצוע מתחיל והוא חייב לעבור את הקורס הזה. לטעמי מדובר על קורס ברמה מאוד גבוהה ואנחנו מוכנים לקחת חלק בפיתוח מחדש של קורסים בנושא, אבל זה צריך להגיע גם מהצד השני. יש התחדשות של בית ספר בסמ"ת בחיפה, אבל הם מלמדים בעיקר בתחומי ההייטק וכו'. כתבתי להם שאנשי המקצוע שלנו יכולים ומעוניינים להצטרף לסגל המרצים, אבל לא חזרו אליי אפילו. זה הכל עניין של היצע וביקוש.

דלית ברטל:

שמעתי את מה שאמר איציק רומנו ומה שלנו בעצם חסר בצוות התכנון, זה היכולת לתכנן מבחינת שימור אנרגיה את היעילות האנרגטית של המבנה עוד לפני תכנון המערכות השונות. אנחנו מפספסים את השלב הזה. לפעמים מקבלים תוכנית ממהודקת ומגובשת, גם בגלל אילוצים שונים. מאוד מסכימה עם דבריו של איציק.

יואב שאולי:

הנושא של מערכות קירור תעשייתיות, הוא משמעותי אפילו יותר, כי שם כמויות הקרר והנזילות הן מהותיות. נושא השימוש ב- CO_2 ואמוניה שינה לגמרי את תחום הקירור. יש מעט אנשי מקצוע שמתעסקים בתכנון ובתחזוקה של המערכות האלו ולכן זו נקודה מהותית שצריך להתייחס אליה גם בנושא של הדרכות והכשרות. איציק יונסי דיבר על נושא של רגולציה והרגולציה היא משמעותית. ישראל היא אחת המדינות הבודדות שבנתה בעזרת משרד האנרגיה, תקן לבדיקה של יעילות של צ'ילרים בשטח שאפשר ליישם אותה ואנחנו רואים שהרבה קולגות בעולם מאמצים את התקן הישראלי לבדיקה של הצ'ילרים בשטח. בתחום הזה ישראל אפילו מקדימה קצת את העולם, בזה שהיא יודעת לתת לאנשים כלים לבדוק את הצ'ילרים וגם כי משרד האנרגיה דורש שמי שקונה צ'ילר, יצטרך לדווח על איכות הצ'ילר במהלך השנים, כדי לוודא שהיעילות של המכונות יהיו טובות במהלך השנים.

איציק רומנו העלה כמה נקודות מהותיות ואני חושב שהוא צודק. אנחנו אחת המדינות היחידות בעולם שאני מכיר שנותנת איזה שהוא פרס או קנס (בעיקר קנס) למבנה שהוא לא מתוכנן גלובלית עם תקציב אנרגיה מסוים. אני חושב שזה מתקשר למה שאמר רפי אהרוני בתחום של ההכשרה, אבל יותר מהכשרה, נושא הרישוי בתחום של מיזוג האוויר, הרישוי בתחום מאוד מצומצם ויש אנשים שעוסקים בזה מבלי להבין את כל ההשלכות. צריך גם מישהו שיתכלל את זה וזו בעיה גדולה יותר.

יוני מלאכי:

אני רוצה להתייחס להערות של יואב שאולי, שהן הערות חשובות. במצגת שהצגתי לא התייחסתי לקררים של האמוניה וה- CO_2 אלא התייחסתי למשפחות של הקררים הסינטטיים בשל קוצר בזמן. במערכות חדשות שיש בהן קררים, אפשר לעבוד על CO_2 .

חשוב לי להדגיש שהבעיות שהצגתי הן במערכות קיימות ולא במערכות חדשות.

לגבי הקררים החדשים, גז ה- CO_2 , אני אישית מעדיף שיעבוד בתת קריטי ולא על קריטי, למרות שאנחנו עושים מתקנים הרבה יותר מורכבים עם על קריטי.

לעניין הרישוי: יש כבר רישום למהנדסי מיזוג אוויר, ההסדרה כעת תקועה בוועדות בגלל המלחמה. אני מניח שתהיה הסדרה בשנים הקרובות ואולי אף בחודשים הבאים.

איציק יונסי:

אני רוצה להתייחס למה שאמר איציק רומנו לגבי תכנון המבנים. תקנות התכנון והבנייה מחייבות היום לבנות לפי תקן של בנייה ירוקה – בנייה בת קיימא, לכן מבנים שהם בשלבי הקמה מתקדמים, אלו מבנים שלא החילו עליהם את הדרישות של בנייה ירוקה. היום מבנים חדשים שנבנים בישראל, נבנים כמבנים חסכניים באנרגיה ומורכבים ופורום ה-15 אימץ את זה לפני שנים, ויש רשויות מקומיות שאפילו דרשו דרישות יתר, כמו עיריית ת"א ועיריית הרצליה. בשנת 2023 הסתיימה רביזיה לתקן 5282 - תקן של דירוג האנרגיה של מבנים, בעיקר בהקשר של מבנים למגורים, וישנה ועדת תקינה מיוחדת לתקן האנרגיה על מבנים שאינם מיועדים למגורים. היו"ר של הוועדה הינה פרופ' אמריטה מהטכניון, פרופ' רחל בקר, והיא מובילה את נושא התקינה יחד עם פרופ' אברהם איזרעלוב ופרופ' אמריטוס אביתר הראל מאוניברסיטת בן גוריון. בוועדה משולבים גם יועצי בנייה ירוקה, מהנדסי מערכות מיזוג אוויר, יועצים תרמיים, מהנדסי תאורה ומהנדסי זיגוג חלונות, והדרישות הופכות להיות הרבה יותר מורכבות היום. הלוואי שאנשים יאמצו דרישות יותר מורכבות ומחמירות; בטח מוסד כמו הטכניון שהוא הבעלים של המבנים והיזם וגם זה שמשלם בהמשך את חשבונות החשמל לאורך השנים. זה שונה מיזם שעוזב, לאחר שהמבנה הוקם, עם שלב האכלוס.

יואב שאולי:

הטכניון בזמנו לימד קורסים במערכות מיזוג אוויר וזה נתן לסטודנטים רקע בסיסי. היום אין אופציה ללמוד קורסים במערכות מיזוג אוויר בבית ספר להנדסאים, לכן אולי האקדמיה תרים את הכפפה ותיקחו על עצמכם ללמד איזה שהוא קורס במיזוג אוויר. הבוגרים שמגיעים אלינו לעבודה, מגיעים עם רקע מצוין במתמטיקה אבל בלי שום רקע בקירור ואנחנו צריכים ללמד אותם מהבסיס את כל הנושא הזה. איגוד מהנדסי מיזוג האוויר ישמח לסייע ולבנות את הקורס הזה.

פרופ' גרשון גרוסמן:

הקורס שציינת נקרא בעבר "בקרת הסביבה" ושמו שונה בהמשך לקורס מערכות קירור ומיזוג אוויר 1+2. זה אף פעם לא היה מקצוע חובה, אבל תמיד היה לזה ביקוש יחסי (בין 20-30 סטודנטים) וקיבלנו ביקורות חיוביות על הקורס. לצערי הגדול, במשך הזמן ראינו שהביקוש לקורס הולך ופוחת והגענו למצב שנרשמו לקורס בין 2-5 סטודנטים ולכן לטכניון לא התאפשר להמשיך ללמד את הקורס. בזמן שהייתי דיקן, הביקוש ללימודים בתחום ההייטק היה אדיר והסטודנטים הלכו ללמוד את הקורסים שקשורים להייטק.

רפי אהרוני:

הצענו לכל האוניברסיטאות שיספקו את המעטפת האקדמית ואנחנו נסייע בכך שנספק את המרצים בחינם בכל מה שקשור לקורסים בתחום מערכות קירור ומיזוג אוויר.

יואב שאולי:

אני חושב גם שהסטודנטים מייד ימצאו עבודה, כי יש מחסור ויתרה מכך, גם המשכורות המשולמות הן לא רעות.

פרופ' גרשון גרוסמן:

בזמנו קיימנו מפגש עם רפי אהרוני, אבי מנשה, אדי פרידמן ונציגים של חברות כמו אלקטרה, והגיעו סטודנטים למפגש, אבל זה לא התקדם משם. אם למישהו יש רעיון כיצד להעלות את הביקוש, נשמח לשמוע. לא חסרים לנו היום אנשים שיכולים ללמד את התחום הזה.

איציק רומנו:

כולנו מסכימים שיש פה חוסר בכוח אדם מקצועי כי אין ביקוש ללימודים בתחום מצד הסטודנטים. בטכניון עשינו פה עבודת התייעלות גדולה. כולם רוצים להיות ירוקים עד שזה מגיע לנושא של עלויות כספיות, ברגע שיש לזה משמעות כספית, הארגון מתחיל פתאום לשנות את הכיוון שלו. לכן אני חושב שזה צריך להגיע כדרישה שהיא חובה מצד משרד האנרגיה ולהשית קנסות במידת הצורך. ברגע שזה יהיה חובה, יהיה צורך באנשי מקצוע שגם יתוגמלו בהתאם ובהמשך זה יביא לביקוש גובר מצד הסטודנטים. זה יוביל לכך שנוכל להיות ברמת יעילות אנרגטית אחרת לגמרי בעתיד.

ניר צבר:

בעבר דיברתי עם רפי אהרוני ואבי מנשה לגבי נכונות לפתוח קורסים בנושא באוניברסיטת אריאל, בה אני ראש החוג להנדסת מכונות במסלול אנרגיה. אנחנו נשמח לקדם קורס כזה.

יוני מלאכי:

הייתי במפגש שהתקיים בטכניון עם הסטודנטים ויצאתי במפח נפש. את הסטודנטים עניין בעיקר כמה מרוויחים בתחום ולא תכנים מקצועיים. אני רוצה לציין שיש גם מכללות וסטודנטים שמגיעים משם ולא מהאוניברסיטאות; כמו מכללת סמי שמעון, והבוגרים שמגיעים אלינו הם חרוצים, מגלים נכונות להתאמץ וללמוד את המקצוע. זה מקצוע נהדר, מרתק ורב דיציפלינרי ולדעתי זו החמצה שלא מלמדים אותו בטכניון. אנחנו מקבלים סטודנטים ממכללות וגם מאוניברסיטת בן גוריון ובהמשך אני מקווה שגם מאוניברסיטת אריאל. אבל שוב, מדובר על היצע וביקוש.

5. סיכום והמלצות

מערכות מיזוג אוויר הן מהצרכניות הגדולות ביותר של אנרגיה כיום בישראל. 70% מצריכת החשמל של בניין משרדים אופייני כיום מוקדשת למיזוג אוויר. שיא הביקוש לחשמל בישראל עבר מן החורף אל הקיץ עקב הדרישה למיזוג אוויר. לו הייתה אפשרות לקצץ בביקוש החשמל למיזוג - אפשר היה לדחות במספר שנים את הקמת תחנת הכוח הבאה בישראל, לצמצם את זיהום האוויר- המקומי והגלובלי וכן להקטין את התלות של ישראל בדלק מיובא. למרות שהתייעלות במערכת מיזוג האוויר מביאה לחסכון ישיר ומשמעותי בכסף, קיים מכשול לביצוע התייעלות הנובע מאינטרסים מנוגדים בין שתי מערכות נפרדות: זו של היזמים והקבלנים, המעוניינים לבנות מהר ובזול, לעומת זו של המשתמשים במבנים אשר צריכים לשלם את הוצאות החשמל. בנוסף, מערכות המיזוג בבניינים קיימים הן לעתים קרובות בזבזניות, בנויות לפי תכנון ישן שאינו מתאים למציאות הנוכחית ובעלי המבנים אינם ממהרים להחליף אותן מפאת העלויות הכרוכות בכך. הממשלה יכולה וצריכה להתמודד עם בעיות אלה, שלא יפתרו ללא מעורבות ממסדית. פורום האנרגיה הנוכחי הצביע על שורה של צעדים שאפשר לנקוט לתיקון המצב.

המלצות:

המלצות הפורום כוללות טווח רחב של נושאים אשר בהם אפשר להשפיע ובאמצעותם ניתן להשיג שני יעדים: **חיסכון בצריכת האנרגיה והסטת עומסים משעות השיא**. לאור זאת, הפורום ממליץ על מכלול פעולות **משולבות**, כאשר מוסכם כי ככל שהיישום ייעשה בצורה כוללת יותר, האפקטיביות שתושג תהיה משמעותית יותר:

1. חינוך לחסכון. החינוך לשימוש מושכל ולתחזוקה הולמת של מערכות מיזוג האוויר חוצה ארגונים וחוצה קהלים. פעולות לחינוך ציבור המשתמשים עולות יחסית מעט ועשויות להביא לתוצאות משמעותיות בזמן קצר. יש להחדיר את נושא החיסכון לתודעת הציבור הרחב ובמקביל ליצור תרבות ארגונית של חיסכון אצל גופים מוסדיים. לצד הצורך במודעות להרחקה ולצמצום מקורות פולטי חום בחללים הממוזגים, יש צורך בחינוך לכיוון טמפרטורת המזגן ולכבוי שלו בעת שאינו נחוץ.

2. תקנים. הכנת תקנים מפורטים וברורים לשימוש חסכוני במערכות מיזוג אוויר ואכיפתם. יזם שאינו יכול או אינו רוצה לעמוד בתקן, לא יקבל רישיון לבנות. תידרש בדיקה תקופתית של מערכות מיזוג קיימות, כפי שהדבר נעשה לגבי מעליות, מתקני הרמה וכדומה, ומערכת שלא תעמוד בתקן – תופסק פעולתה עד לתיקון. הרציונל לדרישות "דרישות" כאלה: חיסכון באנרגיה הוא אינטרס לאומי. יש להנפיק "מכסות אנרגיה": ארגון שחורג מהמכסה מנתקים לו לחלוטין את זרם החשמל, או משלם קנס גבוה. ארגון שמצליח לצרוך פחות משנקוב לו - מקבל פרמיה – ראה המלצה 3 להלן.

3. עידוד ותמריצים כלכליים. במקביל לאכיפת התקנים יינתן עידוד למי שיתקין ויפעיל מערכות חסכוניות מעבר לדרישות התקן. מתן ערבויות מדינה לפרויקטים, פחת מואץ על מערכות יעילות, הפחתת או ביטול מס

קניה על מערכות אלה, והבטחה כי התקציבים המוקצים לפרויקטים אלה יהיו נגישים ופשוטים מבחינת הטפסים והאישורים הביורוקרטיים הנדרשים.

4. מערכות במתקנים ממשלתיים. הממשלה צריכה להיות הראשונה לדרוש ולהכניס קריטריונים של יעילות למערכות מיזוג אוויר במכרזים שלה. במוסדות ממשלתיים יהיה ממונה אנרגיה כפי שנדרש כיום בבתי חולים של קופת החולים, אך לא בבתי חולים ממשלתיים.

5. הכשרת כוח אדם. יש להכשיר מתקינים, מפעילים ומפקחים ולדרוש הסמכה שלהם והדרכה עיתית על מנת לשמר כוח אדם מקצועי ומעודכן, אשר יבצע התקנות, תפעול ותחזוקה עפ"י מדדים שיוגדרו ע"י משרד התשתיות הלאומיות.

6. התארגנות גופים ציבוריים. ניתן לרתום גופים מקצועיים כגון ארגון מהנדסי קירור ומיזוג אוויר, התאחדות התעשיינים, השלטון מקומי, לשכת המהנדסים, ארגון הקבלנים, כדי ליצור מודעות ופעילות חיסכון מלמטה.

7. הסטת ביקושים. אחד הפתרונות להסטת הביקושים, בטווח הבינוני והארוך, הוא לעודד הקמת מערכות לאגירת קור ע"י קרח או מים קרים.

8. חסכון במבנים.

8.1 בטווח המידי ניתן ליישום ע"י הצללת המבנים, התקנת מדי ובקרי טמפרטורה חדשים והתקנת אוטומטים לכבוי מערכות המיזוג.

8.2 יישום תקן 1045 ואכיפתו ע"י משרד הפנים באמצעות ועדות התכנון והבניה.

8.3 קידום בניה משמרת אנרגיה מעבר לדרישות התקן. כאמור, פורום נפרד יעסוק בעדיפויות וקדימויות בתחום זה.

9. קירור אוויר לעומת קירור מים. הקמת צוות מומחים בין-משרדי אשר ינתח, תוך בדיקת מכלול השיקולים, את היתרונות והחסרונות של מערכות מקוררות מים ומקוררות אוויר ובסופו של דבר יציג את המערכות אשר את התקנתן צריכה המדינה לעודד.

נספח 1: תוכנית פורום האנרגיה

13:00 פתיחה – פרופ' גרשון גרוסמן

13:10 מר רפי אהרוני - אסא אהרוני מהנדסים יועצים בע"מ

כשלים במערכות קירור ומיזוג אוויר יעילות אנרגטית וכוח אדם

13:20 מר אליעזר פרוכטר -

הוספת צינור חום ביטא"ות אוויר צח

13:30 מר מלאכי יוני - משב ארדן מערכות

קררים חדשים והשלכות על תחום זה

14:30 דיון פתוח, תוך התמקדות בשאלות:

- מה ידוע על המצב כיום לגבי מערכות מיזוג אוויר חסכוניות באנרגיה בישראל?
- מהם הצעדים שעל הממשלה לנקוט כדי לעודד החדרת מיזוג אוויר חסכוני בישראל?
- מה ניתן ללמוד על מערכות מיזוג וקירור חסכוניות באנרגיה מן הנעשה בעולם?
- השוואה בין שתי שיטות עיבוי: מגדלי קירור ומעבי אוויר כולל עלות רכישה והתקנה, תחזוקה, שטח התקנה נדרש, צריכת אנרגיה, עלות שימוש וכו'.

16:00 סיום

מפגשי פורום האנרגיה של מוסד נאמן (www.neaman.org.il)

פורום האנרגיה ה-54: אגירת אנרגיה חשמלית	2023
פורום האנרגיה ה-53: בנייה ירוקה בישראל	2023
פורום האנרגיה ה-52: תחנת כוח גרעינית בישראל	2022
פורום האנרגיה ה-51: אתגר רשת החשמל – הולכה, ניצול אופטימלי של משאבי הרשת וייצור מקומי	2021
פורום האנרגיה ה-50: דו-שימוש בקרקע חקלאית לייצור חשמל פוטו-וולטאי	
פורום האנרגיה ה-49: שילוב מימן במשק האנרגיה	
פורום האנרגיה ה-48: אנרגיה בעיר חכמה	2020
פורום האנרגיה ה-47: מערכות פוטו-וולטאיות משולבות אגירה לייצור חשמל מאנרגיית השמש	2019
פורום האנרגיה ה-46: הפקת אנרגיה מפסולת	
פורום האנרגיה ה-45: חסמים וזרזים להקמת מתקני ייצור חשמל פרטיים בישראל	2018
פורום האנרגיה ה-44: שיקולים סביבתיים, כלכליים וביטחוניים במיקום אסדת הטיפול בגז ממאגר לווייתן	
פורום האנרגיה ה-43: הסרת הבידוד האנרגטי מעל ישראל	
פורום האנרגיה ה-42: היבטים פסיכולוגיים והתנהגותיים של חיסכון באנרגיה	
פורום האנרגיה ה-41: רכב היברידי וחשמלי	2017
פורום האנרגיה ה-40: גז טבעי לתחבורה בישראל	
פורום האנרגיה ה-39: מיקרו-גרید ורשת חשמל חכמה בעידן של ייצור מבוזר ואנרגיות מתחדשות	
פורום האנרגיה ה-38: צעדים ליישום לאחר אישור מתווה הגז בישראל	2016
פורום האנרגיה ה-37: ביטחון באספקת אנרגיה בישראל	
פורום האנרגיה ה-36: התייעלות אנרגטית בישראל: שדרוג מערכות	
פורום האנרגיה ה-35: אגירת אנרגיה בייצור חשמל	2015
פורום האנרגיה ה-34: ייצור משולב של חום וחשמל	
פורום האנרגיה ה-33: הרפורמה במשק החשמל בישראל	
פורום האנרגיה ה-32: ניצול מיטבי של הגז הטבעי המקומי, לרבות סוגיית הייצוא	2014
פורום האנרגיה ה-31: ביומסה לאנרגיה בישראל	
פורום האנרגיה ה-30: חשמל מאנרגיה סולארית בישראל	2013
פורום האנרגיה ה-29: עיר חכמה	
פורום האנרגיה ה-28: תחבורה יבשתית בת קיימא: היבטי אנרגיה וסביבה	
פורום האנרגיה ה-27: רשת חשמל חכמה כמנוע צמיחה לתעשייה בישראל	
פורום האנרגיה ה-26: ניצול פצלי שמן בישראל	2012
פורום האנרגיה ה-25: משק האנרגיה בישראל – חזון 2028	
פורום האנרגיה ה-24: אנרגית שמש לבנייני מגורים בישראל	
פורום האנרגיה ה-23: ניצול אנרגיית הרוח בישראל	2011
פורום האנרגיה ה-22: תחנת כוח גרעינית בישראל	
פורום האנרגיה ה-21: שיפוץ אנרגטי של בניינים	
פורום האנרגיה ה-20: מערכות פוטו-וולטאיות מחוברות-רשת למגזר הביתי והמסחרי	
פורום האנרגיה ה-19: חיסכון באנרגיה במערכות תאורה	2010
פורום האנרגיה ה-18: מיזוג אוויר סולארי בישראל	
פורום האנרגיה ה-17: השלכות חדירת גז טבעי למשק האנרגיה של ישראל	
פורום האנרגיה ה-16: רשת חשמל חכמה	
פורום האנרגיה ה-15: התייעלות אנרגטית ברשויות המקומיות בישראל	2009
פורום האנרגיה ה-14: רכב חשמלי והיברידי	
פורום האנרגיה ה-13: תחנות כוח סולאריות בישראל	
פורום האנרגיה ה-12: אנרגיה במשק המים	2008
פורום האנרגיה ה-11: בנייה חסכונית באנרגיה	
פורום האנרגיה ה-10: השפעות בריאותיות וסביבתיות של השימוש בגז טבעי בישראל	
פורום האנרגיה ה-9: מקומה של ישראל בשוק הביו-אתנול העולמי	
פורום האנרגיה ה-8: ניהול ביקושים ואספקה	2007
פורום האנרגיה ה-7: ביו-דלקים להפקת אנרגיה	
פורום האנרגיה ה-6: חיסכון במערכות מיזוג אוויר	
פורום האנרגיה ה-5: צורכי המחקר באנרגיה חלופית בישראל	

2006
פורום האנרגיה ה-4: אנרגיית השמש להפקת חום
פורום האנרגיה ה-3: הפקת אנרגיה מפסולת
פורום האנרגיה ה-2: מערכות משולבות ליצירת חום וחשמל (קו-גנרציה)
פורום האנרגיה ה-1: חשמל ממערכות פוטו-וולטאיות



neaman.org.il

מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית | קרית הטכניון,
חיפה 3200003 | טל. 04-8292329 | info@neaman.org.il

אנרגיה וסביבה