

התקע המצדיע

כתב עת מקצועי לחשמל



עובדי חברת החשמל מתקנים את הנזקים שנגרמו
למערכת החשמל עקב פיגועי טילי סקאד באיזור א'



קוגנרציה – הפקה משולבת של חשמל וחום עקרונות אנרגטיים, טכניים וכלכליים בסיסיים

ד"ר משה הירש

קוגנרציה הוא תהליך משולב של הפקת חשמל וחום כאשר החשמל והחום הנוצרים בתהליך נצרכים בז'מנית על ידי צרכני אנרגיה. היתרון בתהליך הקוגנרציה הוא השגת יעילות תרמית גבוהה יחסית בהשוואה לתהליכים מקובלים של הפקת חשמל בלבד או חום בלבד לשימוש צרכני אנרגיה. השגת יעילות תרמית פירושה היסכון בדלק.

בטמפרטורה נמוכה יותר (T_{20}). החום שנפלט לסביבה הוא חום אבוד שאינו מנוצל לשימוש מועיל כלשהו. בתהליך יצירתו ואספקתו של החום נוצר במקביל מוטנציאל לחץ (נא לא קיטור) המאפשר את העת המנו. איור 3 מצגת תזרים אנרגיה כללי אופייני שבו קיימים קשרים בין תזרים האנרגיה של הצרכן ובין תזרים האנרגיה בתהליך הפקת החשמל.

הקשרים מבטאים זרימת אנרגיה שאינה מנוצלת בתזרים תהליך הפקת החשמל אל הצרכן, שם לאנרגיה זו יש שימוש, או להיפך: מחצירן אל תהליך הפקת החשמל.

צורות העברת האנרגיה יכולות להיות חום או חום ולחץ במשלב. אמצעי העברת האנרגיה יכולים להיות: מים חמים, קיטור בלחץ, גז חם בלחץ, שמן חם, אוויר חם וכו'. השילוב בין התזרימים מהווה דוגמה כללית לקוגנרציה.

תנאים הכרחיים לשילוב

כדי לבצע את השילוב בין תזרים האנרגיה לצרכן ובין תזרים האנרגיה לייצור חשמל דרוש שיתקומו תנאים הכרחיים מבחינה תרמודינמית, מבחינה טכנית ומבחינה כלכלית.

תנאים הכרחיים מבחינה תרמודינמית

מבחינה תרמודינמית ניתן לבצע את השילוב וההזרמה של אנרגיית חום (ולחץ) מתהליך הפקת החשמל לצרכן, או להיפך, כאשר הטמפרטורה (ומוטנציאל הלחץ) בצד התהליך הפקת החשמל גבוהים מהטמפרטורה (ומוטנציאל הלחץ) בצד הצרכן, או להיפך.

תנאים הכרחיים מבחינה טכנית

מבחינה טכנית ניתן לבצע את השילוב כאשר:

- האמצעי הטכני לביצוע השילוב זמין ועומדים במציבות של פעילות ממשלתית לאורך זמן.
- אין כל פגיעה בתהליך הפקת החשמל ובתהליכי הצרכן ומצרי.
- קיים מצאיל של מקום להתקנה של מערכת משולבת.

עקרונות כלליים

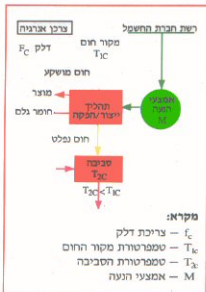
האפשרויות לשימוש תהליכי קוגנרציה נובעות מהאופי המקובל של צרכני אנרגיה חשמלית ואנרגיה של חום, האופי המקובל של תהליכי הפקה של אנרגיית חשמל ואנרגיית חום.

קוגנרציה מהי?

כדי להמחיש עקרונות את האפשרויות לשימוש תהליכי הקוגנרציה נתייחס לאיורים 1, 2 ו-3.

איור 1 מצגת תזרים אנרגיה כללי אופייני של צרכן כלשהו אשר משתמש באנרגיה לייצור מוצר כלשהו (מוצר חשמלית, תנאי סביבה מבוקרים – למשל, חימום או קירור וכו'). הצרכן צורך דלק כדי להפיק חום לשימוש בטמפרטורה גבוהה יחסית (T_{10}). החום שנוצר משריפת הדלק מושקע באמצעים זורמים: מים, אוויר, שמן, קיטור בלחץ וכו'. חלק מהחום המסופק באמצעים אלה דרוש לצרכן לצורך ייצור המוצר, וחלק אחר נפלט לסביבה, ללא שימוש, בטמפרטורה נמוכה יחסית (T_{20}). כמו כן, חלק ממוטנציאל הלחץ שנוצר במקביל לייצור החום (למשל, אצל צרכני קיטור) משמש להדרכת הקיטור לצרכן וחלק אחר אינו בא לידי שימוש (כתוצאה מהפסדי לחץ לסביבה, הפסדי לחץ בכריז הצנרה "שבורי לחץ" וכו'). לצורך הגנה והפמלה של אמצעי עזר אחרים צורך הצרכן חשמל במקביל.

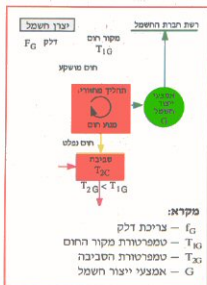
איור 2 מצגת תזרים אנרגיה כללי אופייני של תהליך הפקת חשמל בתחת כוח. לשם הפקת החום הדרוש לתהליך בטמפרטורה גבוהה יחסית (T_{10}) נצרך דלק. החום שנוצר משריפת הדלק מסופק למנוע שמבצע פעילות מחזורית. הפעילות המחזורית מאפשרת סביב של גניסור חשמלי שפויצר חשמל. הפעילות המחזורית של המנוע מתבנית באספקת חום בטמפרטורה גבוהה יחסית (T_{10}) ובכליית חלק מהחום המסופק לו לסביבה.



מקרא:

- f_c – צריכת דלק
- T_{10} – טמפרטורת מקור החום
- T_{20} – טמפרטורת הסביבה
- M – אמצעי העזר

איור 1
תזרים אנרגיה לצרכן



מקרא:

- f_G – צריכת דלק
- T_{10} – טמפרטורת מקור החום
- T_{20} – טמפרטורת הסביבה
- G – אמצעי ייצור חשמל

איור 2
תזרים אנרגיה לייצור חשמל

מ הירש – מנהל מחלקת, ניהול מערכות אנרגיה ובקרה

- מוכסטים תנאי מיוחדים מתאימים
- אין פגיעה משמעותית בסביבה.

תנאים המיוחדים מבחינה טכנית

מבחינה כלכלית ניתן לבצע שילוב כאשר החיסכון הכספי הנובע מהחיסכון הכולל באנרגיה – חשמל דולק – גבוה מהסך הסלל של ההשקעה הראשונית, הוצאות ההון וההוצאות השוטפות לתפעול ותחזוקה בפרק זמן מוגדר הקצר מאוד. חי המערכת המשולבת.

פרק הזמן שבו מחזרות ההשקעה מוגדר כתנאי השיקולים של הממשל בתחומה. תחלומות השקעה כספית אחרות בחיסכון והפקת אנרגיה.

נצילות

בתהליך מקובל להפיק חשמל בלבד נוצר גם חום (ומטנציאל לחץ) שנשלח לסביבה ואינו

מוצל. כתוצאה מכך מתקבלת נצילות תרמית כוללת בשיעור של 25-40 אחוז. נצילות זו מבטאת את היחס בין האנרגיה החשמלית המופקת בתהליך ובין האנרגיה של הדלק הנוצר בתהליך.

לשם זיהוי בתהליך קונגרואי, שבו מנוצל חלק מהחום (ומטנציאל לחץ), שאינו מנוצל בתהליכים המקובלים, מתקבלת נצילות תרמית כוללת בשיעור של 50-85 אחוז. נצילות זו מבטאת את היחס בין הסך הכולל של האנרגיה החשמלית המאגורה של החום המנוצלת בתהליך ובין האנרגיה של הדלק הנוצר על ידי התהליך.

בתהליך המקובל להפיק חום בלבד נוצר לנתיבים מוטנציאל ערך לחץ ו/או חום שיוזר שנשלח לסביבה ואינו מנוצל. לעומת זאת, בתהליך קונגרואי חלק ממוטנציאל ערך הלחץ ו/או החום השיוזר מנוצל להפקת חשמל.

תועלת למשק הלאומי

התועלת למשק הלאומי בתהליך משולב התפקת חשמל וחום מתבטאת בצריכת קטנה יותר של דלק מוביל בחשואה לכמות הדלק הנצרכת להפקת חשמל וחום בהיקפים דומים, אך בתהליכי הפקה נצרכים מנדים לחשמל וחום.

התועלת לערוך שמישים קונגרואי, מבחינת תנאי כדאיות כלכלית, היא שקלות האנרגיה המופקת בתהליך זה (שיכולה של חשמל וחום) תהיה קטנה יותר בחשואה לתהליכים האחרים.

שיטות טכנולוגיות לקונגרואי

קונגרואי להפקת משולבת של חשמל וחום ניתנת ליישום בשיטות טכנולוגיות שונות כגון:

- מנוע דיזל
- טורבינת גז
- טורבינה אוויר מנוע קומפר
- טורבינת חום שיוזר.

מנוע דיזל

ביישום קונגרואי עם מנוע דיזל (איור 4) מופק חשמל באמצעות גנרטור חשמלי המנוע על ידי המנוע. במקביל, מופק חום בדריגות שיוזר של סטנדרטרה שמשמש לחימום וזרם לשמש – מים, אוויר, שמן וכו' – ולייצור קיטור.

הדרכים לקבלת החום ושימושי

החום מתקבל בדרכים הבאות:

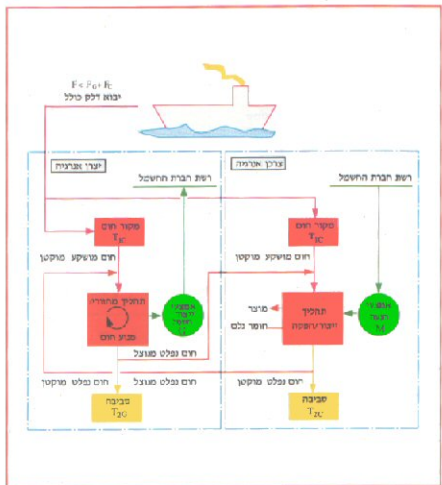
- **מים חמים** (או כל זורם אחר) בתחום סטנדרטרה שבין 40 עד 80 מעלות צלזיוס על ידי קיטור אוויר טעינה, שמן מנוע וראש מנוע.
- קיטור ו/או **מים חמים** (או כל זורם שימושי אחר) כתוצאה חום) בתחום סטנדרטרה שבין 90 עד 250 מעלות צלזיוס על ידי קיטור גזי הפליטה של המנוע, הטמפרטורה של גזי הפליטה מגיעה עד 400 מעלות צלזיוס.

ניתן להשתמש במים החמים ובקיטור תהליכיים שונים כגון מים חמים לשימוש, הסקה, הפעלת מכונת מיזוג אוויר בתהליך ספינה, תהליכי חימום שונים בתעשייה ועוד.

דלק להנעה

מוני הדלק רשמיים להנעת מנועי דיזל מנועים: סולר, מוויס, גז.

בחינת סוג הדלק מתבנת במסגרת הדק ובכדאיות כלכלית. במסגרת קבצים ובניגונים – סדר מדל של עשרות גמאות קילו ואס –



איור 3
זורים אנרגיה משולב (קונגרואי)

ניתן להשתמש בסולר או בגז. במנינים גדולים יותר – החל מסדר גודל של כ-1 מנומל – ניתן להשתמש גם במנוס.

נצילות

נצילות מנצי דיול להפקת השמל בפעולה רגילה ללא קוננציה) היא בסדר גודל של 40-35 אחוז. לעומת זאת, הנצילות של תהליך קוננציה על בסיס מנוע דיול היא בתחום של 55 עד 85 אחוז. הנצילות מותנית באפשרויות ניצוד החום הרוכז הזמין על התמנוע על ידי הצרכן.

טורבינת גז

עקרון הפעולה של טורבינת גז מתואר באיור 5. אוויר נשאב מהסביבה על ידי מדחס ונדרס לתא השרפה. כמות המדחס הדרושה את האוויר תן צנטריפוגליות, צינורית או משוככות.

ללא השרפה מורדק דלק, התערובת של דלק ואוויר דחוס נציצת וכתוצאה מכך מתבקשת תהבה שמפעלה את הטמפרטורה של גזי השרפה – תערובת האוויר הדחוס והדלק הדחוס – לסדר גודל של 1,000-800 מעלות צלזיוס.

גזי השרפה מתפשטים בטורבינת מלחץ גבוה וטמפרטורה גבוהה ללחץ נמוך יותר – קרוב ללחץ הסביבה. כתוצאה מהתרחשויות מועברת אנרגיה תרמית מהגזים לטורבינת. אנרגיה זו מיומרת בטורבינת לאנרגיה מכנית שמטובבת את הטורבינה ואת המנוס. התחבור לטורבינה באמצעות ציר סיבוב.

עודף האנרגיה, שיחא ההפרש בין האנרגיה המכנית המופקת על ידי הטורבינה ובין האנרגיה המכנית המושקעת במדחס, מופנה לסיבוב מנוסר חשמלי ולייצור השמל.

הדרכים לקבלת החום ושימושי

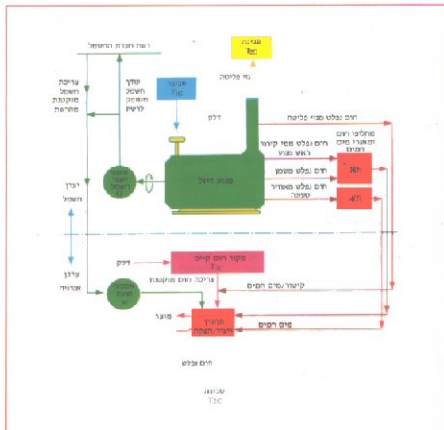
גזי הפליטה מהטורבינה הם בטמפרטורה גבוהה – 400-600 מעלות צלזיוס. בתהליך המסוקבל תזזים נפלטים לסיבוב. בתהליך קוננציה מוצג דלק משמעותי מאנרגיות החום של גזי הפליטה לחימום אוזמים – מים, שמן, גזים, אוויר – או לייצור קיטור.

באנרגיה המתקבלת בתהליך ניתן להשתמש למטרות שונות. מים חמים לשימוש, חימום מבנים ותהליכים, הפעלת מכונות קיור בספנה (לקיור תהליכי או למיווג אוויר), לאספקת קיטור לדגמה של טורבינת קיטור, לשם הפקת תרספת השמל וכו'.

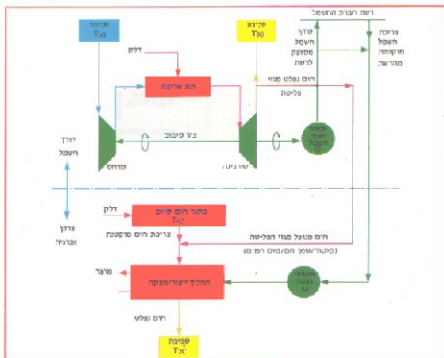
דלק לתמנוע

סוגי הדלק המשמשים לתנעת טורבינת הגז הם בנז, טיול, מוטס וגז.

בחירת סוג הדלק מותנית בביטחון הדלק ובכדאיות מלכלית. במנועים קטנים ובנייתיים – סדר גודל של עשרות ומאות קילו ואס – ניתן להשתמש בסולר או בגז. במנועים



איור 4
קוננציה באמצעות מנוע דיול



איור 5
קוננציה באמצעות טורבינת גז

גדולים תעשייתיים – סדר גודל של מספר מגוואט – ניתן להשתמש גם במוט לאחר טיפול מיוחד.

נצילות

הנצילות של טורבינות זו להפקת חשמל בפעילות רגילה (לא קונגרציה) היא בסדר גודל של 20-30 אחוז. לעומת זאת, הנצילות של תהליך קונגרציה על בסיס טורבינות זו בתהליך קונגרציה היא בתחום של 50 עד 80 אחוז. הנצילות מתגבשת באפשרויות ניגול החום המזין מהמנוע על ידי הצרכן.

טורבינת קיטור

עקרון הפעולה של טורבינת קיטור מתאר באיור 6. קיטור שנמצא בתנאי לחץ וטמפרטורה גבוהים יחסית מתפסס

בטורבינה ולחץ ולטמפרטורה נמוכים יחסית. כתוצאה מכך מאבד הקיטור מהאנרגיה הפנימית שלו. אנרגיה זו מופרת בטורבינה מאנרגיה של חום ולחץ לאנרגיה מכנית הנדרשת לסיבוב הטורבינה. הטורבינה מניעה בטרור חשמלי המיוצר חשמל.

בתהליך המקובל, שבו מופק חשמל בלבד, נהוג לקרר את הקיטור לטמפרטורה קרובה ככל האפשר לטמפרטורה של הסביבה ולעבות אותו במסעה. המים שנוצרים כתוצאה מהעיבוי בלחץ נמוך מוזרמים באמצעות משאבה אל דוד קיטור בלחץ גבוה. הקיטור שנוצר בדוד הקיטור כתוצאה משריפת הדלק חוזר אל הטורבינה. כך נוצר מחזור סגור. החום שמשחרר בתהליך עיבוי הקיטור נגלס לסביבה ואינו מנוצל. בתחנות

כוח הממוקמות סמוך לנחל, היים מקובל פלגות את החום למי הים בתהליך עיבוי הקיטור. טורבינה המשתמשת בתהליך זה היא מסוג "טורבינת עיבוי".

הזרימים לקבלת החום ושימושו

לשפת התהליך המקובל, המתואר לעיל, הרי שבתהליך קונגרציה מנוצל הקיטור היוצא מהטורבינה, לתהליכים שונים הנדרשים לצרכן – אספקת קיטור בלחץ נמוך, מים חמים, הפעלת מכונות ספינה לקירור/מיוון אוויר, חסכת וכי. עיבוי הקיטור למים נעשה בתהליכי הצנר, ולפיכך החום המשתחרר מהקיטור אינו נגלס לסביבה אלא מנוצל על ידי התהליכים. היות שלחץ היציאה של הטורבינה חייב להיות מספיק גבוה בכדי לשמור בדרגת לחץ אספקת קיטור לצרכן, תהיה טורבינת הקיטור מסוג "טורבינת לחץ גבוה".

יושם טורבינת קיטור בתהליך קונגרציה רלוונטי גם לצרכנים אשר להם נדרש קיטור בלחץ נמוך יחסית ואשר אמצעי ייצור הקיטור מספקים קיטור בלחץ גבוה המוקטן באמצעות אמצעי הצנרת ("שובר לחץ"). תחנת טורבינת קיטור במקום "שובר לחץ" מאפשרת הפדת חסכת הלחץ ב"שובר הלחץ" לאנרגיה מועילה מהטורבינה.

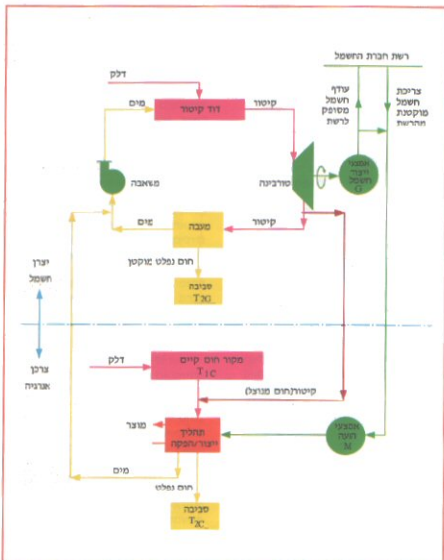
נצילות

הנצילות של מערכת טורבינת קיטור להפקת חשמל בפעילות רגילה (לא קונגרציה) היא בסדר גודל של 20-30 אחוז. לעומת זאת, הנצילות של תהליך קונגרציה על בסיס מערכת טורבינת קיטור היא בתחום של 50 עד 80 אחוז. הנצילות מתגבשת באפשרויות ניגול החום המזין מהמנוע על ידי הצרכן.

יש לציין שהנצילות להפקת חשמל של טורבינה בתהליך קונגרציה מסוג "לחץ גבוה" נמוכה יותר מהנצילות להפקת חשמל של טורבינה מסוג "עיבוי" בתהליך מקובל להפקת חשמל עבור תנאי לחץ וטמפרטורה זהים בכניסה לטורבינה.

הערה: לכל מה שהוזכר לעיל שייך לכל לחץ היציאה מ"טורבינת עיבוי" נמוך יותר מלחץ היציאה מ"טורבינת לחץ גבוה", ולפיכך "טורבינת עיבוי" מועלת במפל לחץ גבוה יותר. עם זאת, על ידי שילוב אופטימלי עם הצנר מנועים להעלאת של הנצילות הכוללת ולהסחיסן בדלק. האמור מתבטא בערכים האתמטיים המוצגים בדוגמה הבאה:

- מערכת עם "טורבינת עיבוי":
נצילות לחשמל – 30%-40%.
- מערכת עם "טורבינת לחץ גבוה":
נצילות לחשמל – 10%-20%.
נצילות כוללת – 50%-80%.



איור 6
קונגרציה באמצעות טורבינת קיטור

טורבינת חום שיורי

בשיטה זו (תרשים 7) מונעת טורבינה מחזור תרמי נפרד, שבו מוגדו חומר עבודה המתפשט במצב צבירה נוזלי מלחץ גבוה ללחץ נמוך, הופך לנוזל מלחץ נמוך תוך כדי פליטת חום בטמפרטורה נמוכה לסביבה, נשאב במצב נוזלי ללחץ גבוה, מתחמם מלחץ גבוה ומתאיד בטמפרטורה גבוהה יחסית ונחוצה מרחבת, מתחממת, וחוזר אל הטורבינה.

הדרכים לקבלת החום ושימושו

במקור חום לשם איוד נוזל העבודה בלחץ ובטמפרטורה גבוהים יחסית משמש חום שנפלט מתהליכי הצרן. ללא יישום של קווגנציה, היה נפלט חום זה לסביבה ללא שימוש.

בצילות

הנצילות של טורבינת חום שיורי נמוכה
יחסית – עד כ-10 אחוזים – בגלל היותה

הפעילה בטווח טמפרטורות קטן בהשוואה למנועים אחרים. עם זאת, ניתן למצוא תהליכים רבים שבהם משתלם כלכלית ליישם שיטה זו. הנצילות מותנית במשטרי הפעילות, הצרכן, שיעורי פליטת החום ורמות הטמפרטורה שבהן הוא נפלט מהתהליכים, מחירי דלק וחשמל וכו'.

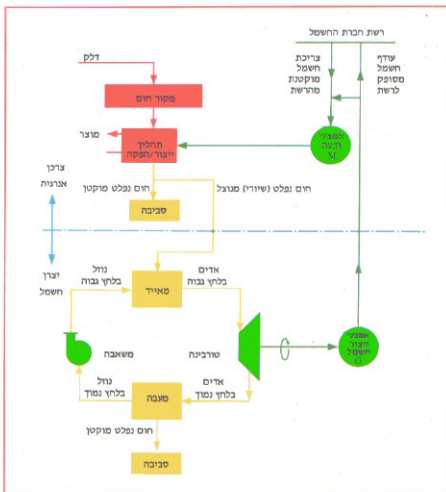
מאזן אנרגטי וכלכלי –
ניתוח שבני

יישום מוצלח של פרויקט קונגרציה מתבטא בחיסכון בדלק בסווח ארוך שמביא לחיסכון כספי הגבוה מההוצאה הנדרשת וכן ליתר אמינות באספקת האנרגיה.

כדי להביא ליישום מוצלח של פרויקט קונגרציה יש לבצע מאזן אנרגטי, מאזן כלכלי ומאזן משולב וכן ניתוח טכני.

המשתנים הבאים יוגדרו על ידי ממצאי המאזן הארגוני-כלכלי והגיתות הטכני:

- מהלכי צריכת האנרגיה החשמלית והצרכן בתלות בשעות היממה וחדשי השנה – פרופיל צריכת החשמל.
- מהלכי צריכת אנרגיית החום של הצרכן ברמות טמפרטורה שונות ובאמצעות זרמי חשמל חום – קיטור, מים חמים, שמן חם, אוויר חם וכו' – תלות בשעות היממה וחדשי השנה – פרופיל צריכת החום.
- קביעת אפסריות לחישוב ושיפור הפרופילים של צריכת האנרגיה אשר כדאיים במיוחד ליישום בהשוואה לקונגרציה – השקעה 1/א החזר השקעה נמוכים יחסית.
- קביעת סוגי הטכנולוגיות למערכת הקונגרציה הדרושניות לאור מהלכי צריכת האנרגיה ואפסריות החישוב לעיל.
- מאזן אנרגטי בין מערכת הקונגרציה ובין הפרופילים של צריכת האנרגיה. רצוי שהמאזן האנרגטי יתבצע עבור גדלים שונים של המערכת כסבויים שונים של טכנולוגיות רלוונטיות. תוצאות המאזן יתנו מידע לבני:
- גודל המערכת המתאים ביותר * מבחינה אנרגטית.
- שיעורי צריכת האנרגיה מהמערכת.
- שיעורי ערפי החשמל המיוצרים על ידי המערכת ואינם נדרשים על ידי הצרכן.
- את העודפים האלה ניתן לייצע למכירה לרשת החשמל הארצית של חברת החשמל, מותנה בעמידה בקריטריונים של משרד האנרגיה של חברת החשמל.
- מאזן כלכלי אשר יציג הכנסות ברוטו, תוצאות, הגדלת שווי, ניתוחי אדאיות ובחינת גודל מערכת הקונגרציה והאופטימליות מבחינה כלכלית.
- ★ **מקורות ההכנסה**
- כוללים את עלות החשמל הנחשב מסל הצריכה של הצרכן ואת עלות החשמל הנחשב לרשת החשמל (לעילות אלה מבוססת על ערפי הצריכה והמכירה) ואת עלות הדלק הנחשב לשימוש בדודי הצרכן.
- ★ **ההוצאות**
- כוללות את עלויות הדלק הנצרך על ידי מערכת הקונגרציה; שמן, תחזוקה, השקעה ותוצאות סימון. הכנסות נטו יציגו את הפרש בין ההכנסות ברוטו להכנסות נטו בתקופת נטו מוגדרת (אורך החיים או נטו שירותי אחר).
- ★ **ניתוחי הכדאיות הכלכלית**
- יציגו את משך החזר ההשקעה, מחיר יחידת אנרגיה חשמלית ותרחישי מוצריות



איור 7
הוגנרציה באמצעות טורבינת חום שיורי

משתתפים "מעפלים" גדולים במיוחד בתעשיות המכניות והכימיות – לרובם, מפעלים המלח – או אזורי תעשייה, עם כל הכורך בטיפול בהתאמה טכנית והתחשבות עם כל אחת מהתעשיות.

אילוצים תקציביים

מבחינת אילוצים תקציביים והתעדפות בתעשייה קיימת בעיה לגבי מרבית הצרכנים הקטנים והבינוניים – סדר דרגל של ההספק הנדרש הממוצע הוא בתחום של מאות עד אלפי קילו ואט חשמל וזרם. הבעיה היא שההשקעה הראשונית, בדרך כלל, גבוהה יחסית, עובדה המכתיבה משך הזמן בתחום של 10-15 שנים אף אם הפרויקט ריווחי בטווח ארוך (20-25 שנה).

בהיבט של המשק הלאומי הרי שההשקעה כדאית. בהיבט של ההשקעה הפרטית, ייתכן שההכרח יעדיף אפקי השקעה אחרים, אם בכלל. מימנא זה מצריך מדיניות של תמיכה ציבורית משמעותית בפרויקטים כלכליים מבחינת המשק הלאומי, כאשר הוראות לגבי תיפעולם המופשט עיולות גבוהה אינה מוטלת בספק.

תמיכה ציבורית בישראל

התמיכה הציבורית קיימת בשני מישורים:

- תמיכה בהשקעה הראשונית.
- מכירת עודפי חשמל לרשת חברת החשמל.

תמיכה בספיט בתשקעה הראשונית (תיכנון והקמה)

במקורות תמיכה ציבורית ניתן לציון בעיקר את משרד האנרגיה, האגף לשימור אנרגיה ואת חברת החשמל, אגף הצרכנות, במסגרת פעילותו בתחום יועץ משק החשמל על פי מדיניות משותפת של חברת החשמל ומשרד האנרגיה. כמו כן ניתן לציון את משרד המסחר והתעשייה בהתייחס למיגור התעשייתי כחלק ממדיניות תמיכה במפעלים יצרניים בכלל, ותעשיות ייצוא בפרט.

תמיכת משרד האנרגיה

התמיכה מתבטאת בארבע מנגנוני מעלות הפרויקט. התמיכה מותנית, בין השאר, בכלכליות, לפשט הלאומי על פי קריטריונים מוגדרים, המפורטים בעלוני האף לשימור אנרגיה, בגודל הפרויקט ובזמנית התקציבית.

תמיכת חברת החשמל

התמיכה מותנית, בין השאר, בעמידה בקריטריונים, של כדאיות כלכלית, המפורטים בדפי המידע ליהלוואות או מענקים לפרויקטים להסעת עומסים משמעותיים שאי בהרשק לחשמל לשעות הפעל, לפרויקטים להיסכון בחשמל ולפרויקטים לקונגרציה.

תמיכת משרד המסחר והתעשייה

התמיכה מותנית, בין השאר, בעמידה בקריטריונים אנרגטיים/כלכליים של האף לשימור אנרגיה במשרד האנרגיה והתשתיות וכן בקריטריונים המתייחסים למיגור התעשייתי הספציפי.

מכירת עודפי חשמל לרשת חברת החשמל

נוסף לאמור לעיל, יש לציון את מתן האפשרות לפרויקטים לספק עודפי חשמל לרשת החשמל הארצית בתמורה כספית על פי תעריפי "יצרן חשמל פרטי" במקביל לאפשרות החשמל וזרם לצרכן האנרגיה. אפשרות זו ניתנת הדדית על ידי חברת החשמל ומשרד האנרגיה על בסיס עמידה בקריטריונים לרונטיים לצורני חשמל פרטיים, כמפורט בעלון "יצרן החשמל הפרטי".

נדגיש שאפשרות זו ניתנת בתנאי שהפרויקט הוקם ללא תלות הכספית של חברת החשמל.

הצגת פרויקטים

להלן סקירה של שני פרויקטים בעלי פוטנציאל כלכלי לצרכן ולמשק הלאומי:

- מערכת קונגרציה על בסיס מנוע דיזל.
- פרויקט רעיוני עם תמיכה של חברת החשמל.

בסקירה מוצג הפוטנציאל האנרגטי-כלכלי וכן אופן יישום מדיניות התמיכה הציבורית כפי שתואר לעיל.

מערכת קונגרציה על בסיס מנוע דיזל

מערכת קונגרציה, על בסיס מנוע דיזל מיועדת להקמה בתודשים הקרובים ב"א.א. מפעל התקשיתי לצביעה ואספורה שממנא באזור התעשייתי בראשון לציון. באזור 8 מוצג תזוים האנרגיה עם שילוב מערכת הקונגרציה במפעל.

תיאור הפרויקט

על פי התיכנון, ההספק מתוקן, של המערכת יהיה 12.4 מגוואט חשמל ו-11.1 מגוואט זרם לניצול.

חלק מהחשמל ייצרן על ידי המפעל. החלק העודף יסופק לרשת החשמל הארצית של חברת החשמל במחיר גבוה, כאשר התמורה תהיה על פי תעריפי תעניי לציורני חשמל פרטיים.

החום המופק ישמש לאספקת מים חמים בטמפרטורה של 40-80 מעלות צלזיוס וקוטור ורי יבש בלחץ של 4-5 אטמוספירות.

המערכת מתוכננת לפעול ולספק אנרגיה במשך למעלה מ-5,000 שעות בשנה. החיבור לרשת החשמל הארצית ייעשה באמצעות שאי במחיר גבוה (22kV/400V).

מערכת מנייה במחיר גבוה – עבור חשמל שצורך מרשת חשמל שנמכר לרשת – ומערכות סינכרון והנהגה בפני קצו, חוסר מתח, מתח יתר וזרם חוזר. החיבור למפעל ייעשה באמצעות לוח חלוקה במחיר נמוך ומערכת הנהגה.

החיבור למערכת המים החמים במפעל יעשה באמצעות מחליף זרם, אשר ימיר זרם מאזורי תעיה, שמי קירור ראש מנוע ומשכון מנוע, ובאמצעות מאגר מים מים ייעודי לפרויקט. החיבור לקו אספקת קוטור למפעל ליעשה ייעודי מאגרת מחולל קוטור אשר תמיר זרם מגני הפליטה של המנוע.

מערכת בקר מתוכנת בתבקר באופן אוטומטי את ההפעלה ממצב דומם, את הפעילות הרצויה של החשמל, תוך התחשבות בהגבלים בינאותיים במערכות החשמל והחום, דרישות סינכרון וייצוב, דרישות אספקת חשמל למפעל ולרשת חברת החשמל, דרישה למים חמים בסמפרטורות שונות ולקוטור.

בעת פעילות תקינה של המפעל ורשת החשמל הארצית יפעל המנוע בעומס מלא. הנצילות חזונית להניע לתחום של 76-83 אחוז – 39 אחוז להפיקת חשמל ו-44 אחוז לחום. במצב חירום, המנוע ידד בפרעות ברשת החשמל הארצית אשר אינן בסיכורין או בידידת הפעילות במפעל, יפעל המנוע בעומס חלקי בצלילות נמוכה יותר.

תועלות

- ייצור חשמל: כ"6 מיליון קוטושי לשנה.
- היסכון למשק החשמל ביבוא דלק נזיל: כ-800 טון לשנה.
- היחס בין הערך הנוכחי של התועלת לאורך חיי התועלת מותקן במסגרת הפרויקט לבין ההשקעה בפרויקט גבוה מ-12.

תמיכה ציבורית

הפרויקט, ראשון מסוגו בארץ, זכה להכרה על ידי משרד האנרגיה והתעשייה (באמצעות האגף לשימור אנרגיה), במיתון להקמה. לפיכך הוא זוכה לתמיכה כספית של משרד האנרגיה. הפרויקט זכה גם להכרה על ידי משרד המסחר והתעשייה בפרויקט תעשייתי לכלול לאספקת תמיכה נוספת.

במקביל, הפרויקט הוכר, הדדית, כיצורן (באמצעות מפעל התמיכה של חברת החשמל ועל ידי חברת החשמל (אף הצרכנות).

פרויקט רעיוני עם תמיכה

של חברת החשמל

להלן דוגמה של פרויקט רעיוני הממחישה את תשומת הלב לתמיכה של חברת החשמל, אף הצרכנות, במסגרת יישום מדיניות ההתייעלות של משק החשמל.

טבלה 1

התועלת הסגולית למשק החשמל במתח גבוה על פי מש"בים

הענה	החודשים	מיקוב שעות ביקוש (מש"ב)	התועלת (\$/ק"מ)
ק"מ 1	יוני,	פיסגה — 260 שעות	14.2
	ספטמבר	בבע — 392 שעות	13.1
	שכל	שכל — 350 שעות	7.0
ק"מ 2	יולי,	פיסגה — 230 שעות	19.2
	אוגוסט	בבע — 352 שעות	14.0
	שכל	שכל — 320 שעות	6.8
חורף	דצמבר	פיסגה — 261 שעות	17.8
	עד	בבע — 726 שעות	30.0
	פברואר	שכל — 640 שעות	13.3
מעבר	מרץ עד מאי	פיסגה — 1520 שעות	61.3
	אוקטובר,	בבע — 100 שעות	2.8
	נובמבר	שכל — 850 שעות	16.7

נמוכה מעריכת החום ביחידות אנרגטיות זהות.

לעומת זאת, השימוש בטורבינת קיטור עדיין, בדרך כלל, לצרכנים שעיקר צריכת החום היא באמצעות קיטור בלחץ נמוך וכאשר מטרת הצריכה יציב ואין בו תנודות גדולות.

תועלת למשק החשמל

חישוב התועלת השנתית למשק החשמל על בסיס הספק של 1 מגוואט, 5,681 שעות פעילות בשנה ומימנות של 90 אחוז נערך באופן הבא:

תפוקת אנרגיה:

1,000 (ק"מ) * 5,681 (שעות/שנה) * 0.9 = 5.1 מיליון קו"ש/שנה

הקטנת שריף הביקוש: 1,000 ק"מ

תועלת כספית:

1,000 (ק"מ) * 216 (\$/שנה/ק"מ) = 216,000 (\$/שנה/1.8 מיליון \$/שנה)

תועלת לצרכן

התועלת לצרכן תוצרן את כל החשמל המופק על ידי מערכת הקונגרואיה משתכם בב-336,000 דולר. ערך זה מבוסס על שעות הפעילות על פי המשיבים לעיל ועל תעריפי תעוין לצרכנים במתח גבוה מיום 8.8.90.

אם תהיוויקט מוכר על ידי חברת החשמל ומשרד האנרגיה כייצור חשמל פרטי, אזי במידה שהיוו ערפי חשמל, ההוויקט את ההפרש בין התמוקם על מערכת הקונגרואיה ובין צריכת החשמל על ידי הצרכן, אלה יימכרו לרשת חברת החשמל על פי תעריפי יצרן חשמל פרטי ויבואו את התועלת הכספית לצרכן לרף גבוה יותר.

עבור שימוש במנוע דילזל כמסיר אנרגיה במערכת הקונגרואיה ניתן לצפות לפוטנציאל חום. כ-60 אחוז מהספק החום (0.6 מגוואט חום) ניתנים לניצול בטמפרטורות של עד 80 מעלות צלזיוס — מתאים למים חמים, אוויר חם וכו', וכ-40 אחוז (0.4 מגוואט חום) ניתנים לניצול בטמפרטורות גבוהות יחסית לצורך הפקת קיטור מגזי הפליטה.

עבור שימוש בטורבינת קיטור כמסיר אנרגיה ניתן לצפות לפוטנציאל הספק חום גבוה יותר בשיעור כפול מהמתואר לעיל — 2 מגוואט חום, מתנה בלחצי העבודה של 2 הקיטור. זאת, מאחר שהנצילות החשמלית נמוכה יותר בהשוואה למערכת קונגרואיה בסיס מנוע דילזל. יישום באמצעות טורבינת קיטור מאפשר לגלגל 100 אחוז מהספק החום הזמין לניצול בטמפרטורות גבוהות יחסית.

יש לציין שאם הבסיס היה מהווה אספקה של 1 מגוואט חום הרי שממערכת קונגרואיה על בסיס מנוע דילזל ניתן היה להפיק כ-1 מגוואט חשמל, ואילו ממערכת על בסיס טורבינת קיטור ניתן היה להפיק כמכתיב, כלומר, כ-0.5 מגוואט חשמל מותנה בלחצי העבודה של הקיטור.

לפיכך, השימוש במנוע דילזל עדיף בדרך כלל, לצרכנים שצריכת החשמל שלהם זהה או גבוהה מצריכת החום, ביחידות אנרגטיות זהות, וכאשר כל החשמל המופק מאחד מנוע הדילזל נערך על ידי הצרכן, וכאשר עיקר צריכת החום מיועדת למים חמים בטמפרטורות של עד 85 מעלות צלזיוס, וחלק מהחום מיועד לקיטור בלחץ נמוך. במקרים שבהם קיים היתר למכור ערפי חשמל לרשת חברת החשמל אשרי צריכת החשמל תהיה

מתחדשת במצואי שבת או חג או ביום ראשון בבוקר או למחרת החג בבוקר. בעונת הקיץ והגנים מפעילים רבים להשביט את הפעילות למשך שבוע או למספר פחות למספר חופשה, אחזקה כלכלת וכו'.

בהתאם לכך מתקבלות שעות הפעילות ותועלת סגולית למשק החשמל במתח גבוה בזמינות של 90 אחוז על פי המשיבים הבאים, כמתואר בטבלה 1.

בסך הכל מתקבלת תועלת סגולית בשיעור של 216* דולר לשנה לכל 1 קילו ואט למשך פעילות רצופה של 5,681 שעות בשנה.

התועלת הסגולית מחושבת על בסיס טבלת תועלת שנתית, המפולגת לפי משיבים ברמת זמינות של 85 אחוז (טבלה 3 בסעיף 3.2.2.5) ב-1/5 קילו ואט במשך כל שעות המשיבים ועל בסיס טבלת תפוקת ומשך הפעילות לעיל עבור צרכן אופייני ועבור זמינות של 90 אחוז.

תחשיב לדוגמה עבור "פיסגה" ב"ק"מ 1:

בטבלה 3 בסעיף 3.2.2.5 שבמדריך חברת החשמל, אף הצרכנות, מצויינים הערכים הבאים:

- מיקוב שעות ביקוש (מש"ב) 260 שעות.
- התועלת ב-1/5 קילו ואט במשך כל שעות המשיבים ברמת זמינות של 85 אחוז במתח גבוה: \$13.4.

בדוגמה הנוכחית נלקחה בחשבון זמינות של 90 אחוז. לפיכך, התועלת ב-1/5 קילו ואט במשך כל שעות המשיבים תהיה:

$$14.2 \text{ \$ / ק"מ} \cdot \frac{90\%}{85\%} = 13.4 \text{ \$ / ק"מ}$$

תחשיב לדוגמה עבור "שכל" ב"ק"מ 1:

בטבלה 3 בסעיף 3.2.2.5 שבמדריך חברת החשמל, אף הצרכנות, מצויינים הערכים הבאים:

- מיקוב שעות ביקוש (מש"ב) 350 שעות.
- התועלת ב-1/5 קילו ואט במשך כל שעות המשיבים ברמת זמינות של 85 אחוז במתח גבוה: \$15.3.

בדוגמה הנוכחית נלקחו 350 שעות "שכל", וזאת בהתבסס על אי פעילות הצרכן בסופי שבוע ובחלק משעות הלילה. על בסיס ערך זה ועל בסיס זמינות של 90 אחוז, התועלת ב-1/5 קילו ואט במשך כל שעות המשיבים שבהן מתקיימת הפעילות הצרכן תהיה:

$$15.3 \text{ \$ / ק"מ} \cdot \frac{90\%}{85\%} = 15.3 \text{ \$ / ק"מ}$$

הסקפי מערכת הקונגרואיה

בדוגמה להספיק מערכת הקונגרואיה נתייחס למערכת שהספקה החשמלי הוא 1 מגוואט חשמל.

הוצאות, חיסכון והשקעה – מערכת קונצרניה על בסיס מעט דולר

דלק

עבור מערכת מעט דולר שבדומה, ההספק הומין הכולל (חשמל וחום) הוא 2 מגוואט. בהנחה שהספק זה מתווה כ-80 אחוז מהספק הדלק המושקע בשקט, הרי שההספק האמיתי של דלק הוא כ-2.5 מגוואט. חום של כ-860 קילוקלוויה/קוט"ש שבים שווה ערך של 860 קילוקלוויה/קוט"ש. חום זה שבים ערך קטור של הדלק (לדוגמה: ערכו הקטור של מוט קל הוא 9,700 קילוקלוויה/קוט"ש), מתקבל בעזרת הדלק היא בשעור של כ-222 ק"ש/שעה.

משך פעילות של 5,681 שעות לשנה מכתיב צריכת דלק בשעור של 1,241 טון לשנה.

מצריכת דלק זו יש לקזח את החיסכון בצריכת בודו חימום קונצרניאלי הנובעת מהחיסכון בשעור של 1 מגוואט חום שמתקבל ממערכת הקונצרניה והנחס מדוד החימום הקונצרניאלי.

היות של פי הימצאותם לעיל, מחצית הדלק שנצרך על ידי מערכת הקונצרניה מיועד לאספקת חום לשימוש, הרי שצריכת הדלק הנוספת נוב על ידי מערכת הקונצרניה היא כ-111 ק"ש/שעה. צריכה זו נומכה במחצית הצריכה עבור תחנת כוח קונצרניאלי. להפיק חשמל בשעור זה למתור לעיל. הצריכה הנוספת נטו היא כ-630 טון/שנה.

במונחים של המשק הלאומי, מושג חיסכון בתוצאה מחיסכון בצריכה הנובעת יותר יחסית בתחנת כוח קונצרניאלי על בסיס של דלק נוזלי. על בסיס צריכה של 0.26 ק"ש/קוט"ש, הצריכה השנתית בתחנת קונצרניאלי היא (לפי 5,681 שעות) 1,477 טון/שנה.

מבאן שהחיסכון שמשיגים במערכת קונצרניה בהשוואה לתחנת כוח קונצרניאלי הצורכת דלק נוזלי הוא:

847 טון/שנה = 630 - 1477

עלות צריכת הדלק השנתית הנחסכת היא:

■ לפי \$120/טון ולפי משבר הדלק (הנרכז): \$75,600/שנה

■ לפי \$160/טון (בעקבות משבר הדלק הנרכז):

\$100,800/שנה

עלות אחזקה ותפעול

עלויות אחזקה ותפעול (נכו אדם, חלפים, שמן וכו'), הנוספות להוצאות המוכולות בצריכת אנרגיה בהיקף זה, נאמדות בסדר גודל של כ-\$30,000/שנה.

סך כל ההוצאות – דלק, אחזקה ותפעול – הוא כ-\$131,000/שנה, מותנה במצב הצרכן ותפעול קודם ליישום.

הכנסה שנתית לצרכן

ההכנסה השנתית – תועלת לצרכן בקיוויו והוצאות – היא 205,000 דולר.

התועלת לצרכן למשך חיי הפרוייקט

התועלת המצטברת לצרכן בערך הנוכחי, על בסיס 20 שנה ברביית דולרית בשעור הערך הוא של 12 אחוז, תהיה בסך של כ-1.7 מיליון דולר.

על בסיס השקעה בסדר גודל של 1,000 דולר ל-1 קילו וואט מותקן – מותנה בדגם, האימות למערכת במפעל, שיער המסבצ, שיעור הקיוויו מעלות קו אספקת חשמל מרשת חברת החשמל לצרכן, עלויות נמנעות אחרות וכו' – סך ההשקעה יהיה כ-1 מיליון דולר.

ערך זה מביא שהיחס בין התועלת לעלות ההשקעה למשך חיי הפרוייקט הוא 1.7:1. יחס זה עומד בקריטריונים הכלכליים החזק ההשקעה לצרכן יהיה כ-6.5 שנים.

הערכים המצוטטים לעיל הם דוגמה בלבד. בכל פרויקט ופרוייקט יש לבדוק באופן מעשי את התאמות בין מערכת הקונצרניה ובין הצרכן, ולפיכך ייתכנו ערכים שונים.

תמיכת חברת החשמל – הלוואה

לפי שיטת התמיכה הנוכחית, הצרכן יוכל לזכות בהלוואה לתקופה של 8 שנים בסך של 1 מיליון דולר, השווה לעלות הפרוייקט ועד התועלת ל-20 שנה בנזח פעולת הפרוייקט.

הצרכן יחזיר כ-\$143,500 דולר לשנה בערך נוכחי. ההחזר מחושב על בסיס ההנחות הבאות:

- החזר הלוואה הוא חודשי על בסיס למדד נורבית ריאלי.
- עלויות מדד שנתית בשעור 20 אחוז.
- רביית שנתית ריאלי בשעור 4 אחוז.
- כינוח שתי בריח כלורל בשעור 12 אחוז לשנה.
- רביית דולרית שנתית בשעור 12 אחוז.

שיעור ההחזר מהווה תוספת של כ-\$18,500 בהוצאות השנתיות של הפרוייקט בערך נוכחי. לתקופה של 8 שנים מדובר בתוספת מעטבת של כ-\$148,000 בערך נוכחי. את הערך הזה יש לקזח מהיך הנוכחי של 1.7 מיליון דולר למשך 20 שנת הפרוייקט.

התוספת בהוצאות מימון זו תביא להקטנת ההכנסה השנתית לסך של 61,500 דולר בערך נוכחי במשך 8 השנים הראשונות. עם זאת, מאחר שההשקעה הראשונית לצרכן היא 8 דולר שמי שמעך החזר ההשקעה לצרכן הוא 8 שנים.

תמיכת חברת החשמל – מענק

עלות הפרוייקט היא מעל \$175,000, לפיכך הצרכן לא יזאי למענק.

(המשך ממדור 27)

תחנות טרנספורמציה ועירות

- תחנות הבידוד.
- עלויות מזה תחנות מעל המותר.
- עומס יתר.
- היווצרות שכבת אוויר לח, אבק וליכיון על תחנות.
- כדי למצוץ את הסיכונים להיווצרות תשתות חשמליות נקטים באמצעים הבאים:
- בורחים בבידוד העומס בדרישות התקן תוך הייחסות לשיקולים טכניכלכליים.
- משתמשים במערכת הנגה במי עומס יתר.
- משתמשים במערכת איזורר לצורך פיזור חום ולמניעת הצטברות של לחות ואבק.
- בורחים במסדרי מזה בנזח שמיים המבודדים בנזח SF₆ וכך נורמים לצימצום השפעת מזה האוויר והיחום הסביבתי.
- תוצאות הבדיקה לאחר ניסוי הקצר צריכות להיות כמפורט להלן:
- דלנוון, ולנוון, מנסים וכי גזיכים
- להישאר שגורים
- אסור שחלקים מהתחנה ישתחררו ויעזמו במהלך הבדיקה.
- אסור שיווצרו בקירות החיצוניים סימני מניעה או חורים בתוצאה משריפה, או בכל תופעת אחרות.
- אסור שחיישני אדיג' שסדרו במאונך ובמאונך בתוך המבנה ידלקו.
- כל האמצעים צריכים להישאר מחוברות היסב.