



שילוב צ'ילרים בתהליך ייצור החשמל בתחנות כוח באמצעות קוגנרציה

מהנדס יוני מלאכי

הנהלה, משב הנדסת קירור ומיזוג אויר (1965) בע"מ, ישראל

תקציר

ההרצאה מורכבת משלושה פרקים:

הפרק הראשון עוסק בתרמודינמיקה בסיסית של תחנות כוח במחזור משולב ובקו-גנרציה.

הפרק השני עוסק בשילוב צ'ילרים בתהליך ייצור החשמל בתחנות כוח באמצעות קירור האוויר הנכנס לטורבינת הבעירה ובאמצעות קו-גנרציה.

הפרק השלישי עוסק בשיטות קירור באמצעות קיטור במחזור ספיגה ובמחזור דחיסה.

תוכן העניינים

1. תרמו-דינמיקה בסיסית של תחנות כוח:

- מחזור משולב- טורבינת בעירה וטורבינת קיטור
- קו-גנרציה- ייצור משולב של כוח וחום

2. שילוב צ'ילרים בתהליך ייצור החשמל בתחנות כוח:

- קירור האוויר הנכנס לטורבינת הבעירה
- קו-גנרציה- קירור באמצעות קיטור

3. שיטות קירור באמצעות קיטור:

- צ'ילר במחזור ספיגה
- צ'ילר במחזור דחיסה

מבוא

תגליות הגז הטבעי, פריסת רשת החלוקה הארצית וההצטרפות למשק החשמל של תחנות כוח פרטיות, מייצרות הזדמנויות חדשות לאספקת כוח וחום לצרכני קצה עתירי אנרגיה וזאת באמצעות הקמת תחנות כוח ייעודיות הממוקמות בקרבתם.

תחנות מסוג זה תהיינה מסוגלות לספק כוח בדמות אנרגיה חשמלית במחזור פשוט, או מחזור משולב, וכן אנרגית חום בדמות קיטור הדרוש לתהליכי ייצור שונים. חידוש נוסף הינו השימוש בקיטור לצורך הנעת צ'ילרים, הקרוי בעגה המקצועית- טריגנרציה, דהיינו- ייצור חשמל, חום וקור תחת קורת גג תחנת כוח אחת.

1. תרמו-דינמיקה בסיסית של תחנות כוח:

• מחזור משולב- טורבינת בעירה וטורבינת קיטור

המחזור המשולב מנצל את החום השיורי הנפלט מגזי הפליטה של טורבינת הבעירה במחזור ברייטון, להפקת קיטור במחזור משני לצורך הנעת טורבינה/ות לייצור נוסף של אנרגיה חשמלית במחזור רנקין (ראה ציור מס' 1).



ציור מס' 1- ניצול חום שיורי מגזי פליטת טורבינת בעירה, באמצעות מחולל קיטור להשבת חום, לצורך הפקת חשמל במחזור משולב (מקור- ERG).

בעוד שבמחזור משולב שאינו כולל קו-גנרציה, מופנית כל תפוקת הקיטור לייצור חשמל באמצעות טורבינת הקיטור, הרי שבתחנות כוח הכוללות קו-גנרציה, מופנה חלק מן הקיטור או כולו להפקת חום. הקמת תחנות מסוג זה בסמיכות לצרכני קיטור מאפשרת ניצול יעיל יותר של החום השיורי המופק באמצעות מחולל הקיטור להשבת החום.

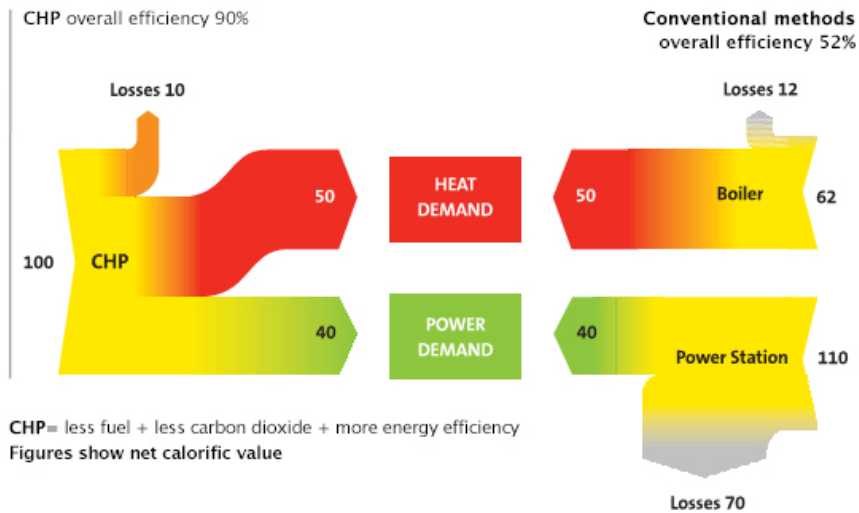
• קוגנרציה- ייצור משולב של כוח וחום

תחנות המשלבות ייצור אנרגיה חשמלית וניצול חום שיורי של גזי הפליטה לייצור קיטור מוקמות לאחרונה בסמיכות למפעלי תעשייה בעלי דרישה לתפוקות קיטור גבוהות כדוגמת בתי זיקוק, מפעלי ייצור תהליכי וכד'. ייצור חום בשיטה זו מכונה בעגה המקצועית קו-גנרציה- דהיינו, שילוב של כוח וחום- CHP- Combined Heat & Power Generation.

לאחרונה מאופיין שימוש של אנרגיית חום ואנרגיית קור הניתנת להפקה באמצעות ניצול החום השיורי כנ"ל לייצור קיטור ומים קרים/תמלחת קרה למפעלי תעשייה בעלי דרישה לתפוקות גבוהות של קיטור ומים קרים/תמלחת קרה כדוגמת מחלבות, מפעלי ייצור בתעשיית הטכנולוגיה העלית וכד'.

ייצור חום בשיטה זו מכונה בעגה המקצועית טרי-גנרציה- דהיינו, שילוב של כוח, חום, וקור- CCHP- Combined Cooling, Heat & Power Generation. ע"י ייצור משולב של כוח וחום ניתן להגדיל בעשרות אחוזים את יעילות ייצור האנרגיה המופקת מתחנת כוח במחזור משולב קו-גנרציה או טרי-גנרציה, וזאת ביחס לתחנת כוח קונבנציונלית (להמחשה, ראה ציור מס' 2).

This Sankey diagram shows the energy distribution per unit quantity of fuel to a CHP versus conventional boiler and mains supplied electricity.



ציור מס' 2- ניצול חום שיורי מגזי פליטת טורבינת בעירה להפקת כוח וחום, ביחס לתחנה קונבנציונלית (מקור- Perfect-Green).

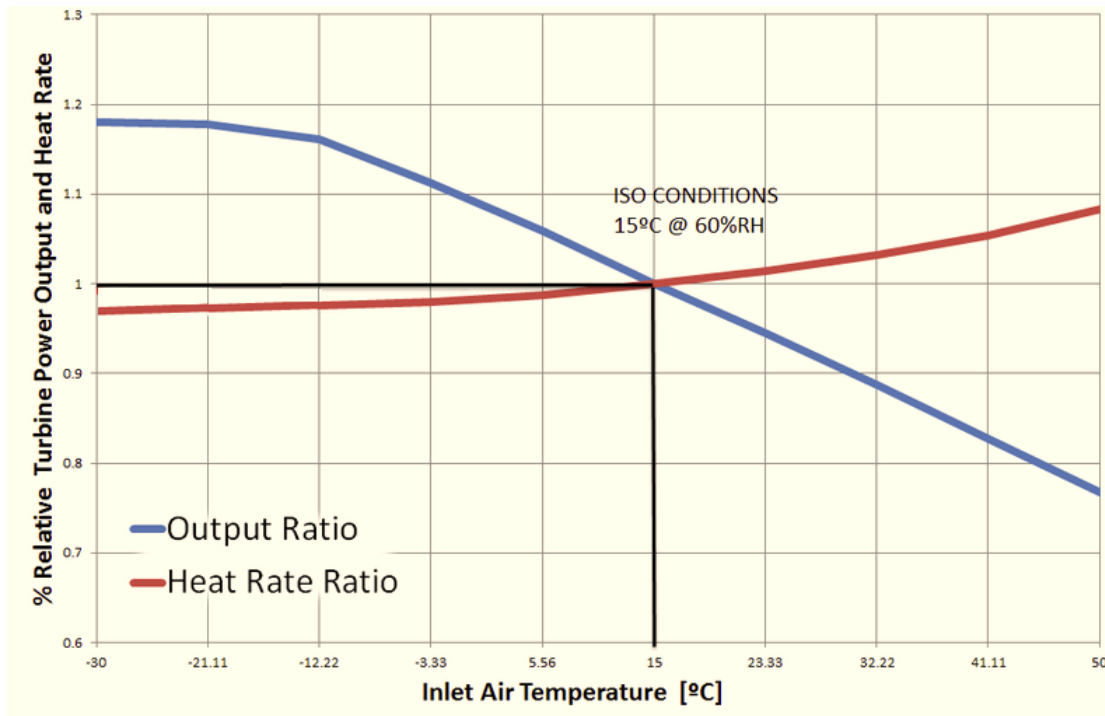
2. שילוב צ'ילרים בתהליך ייצור החשמל בתחנות כוח:

• קירור האוויר הנכנס לטורבינת הבעירה

תפוקת טורבינת הבעירה וצריכת חומר הדלק שלה תלויים בטמפ' האוויר הנכנס אליה. הסיבה לכך נעוצה בשני גורמים: הגורם העיקרי הינו ירידה בצפיפות האוויר ביחס הפוך לעליית טמפ' הסביבה, והגורם המשני הינו עלייה בשיעור עבודת המדחס ולפיכך ירידה בשיעור תפוקת הטורבינה. הבעיה מחריפה בעונת הקיץ שבה קיים אבדן שיא של תפוקה דווקא בעת ביקוש שיא לחשמל ובתעריפי פסגה גבוהים במיוחד.

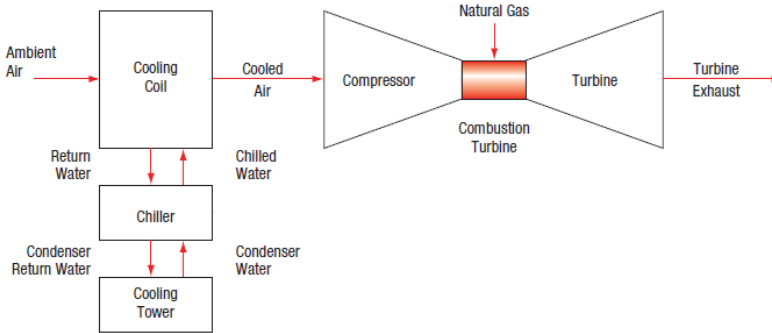
הפתרון המיטבי לבעיה ובמיוחד באקלים חם ולח כבאזורנו, הינו קירור מוקדם של האוויר הנכנס לחלל הטורבינה וזאת באמצעות מערכת צ'ילרים ומחליף חום אוויר/מים קרים המותקן בתא יניקת האוויר. הפתרון קרוי בעגה המקצועית - CTIAC- Combustion Turbine Inlet Air Cooling.

לכל טורבינה עקומה המוגדרת ע"י היצרן ומאפיינת את שיעור ירידת התפוקה ביחס לעליית הטמפ' ואת שיעור עליית צריכת חומר הדלק של הטורבינה ביחס דומה כנ"ל (ראה ציור מס' 3).



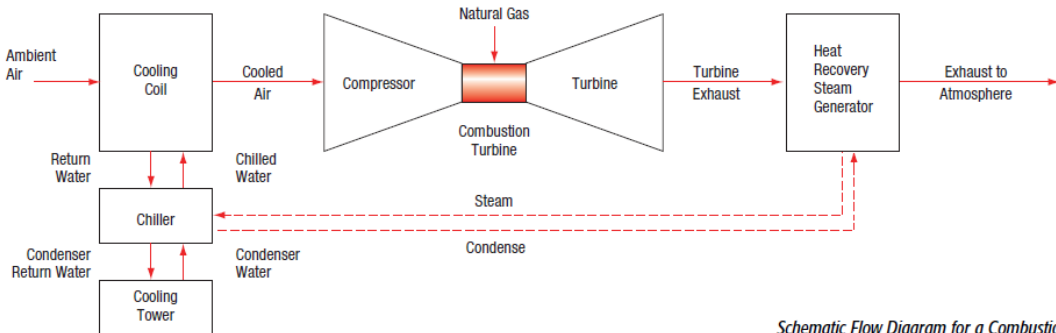
ציור מס' 3 - שיעור ירידת התפוקה ושיעור עליית צריכת חומר הדלק של טורבינת בעירה ביחס לטמפ' האוויר בכניסה לטורבינה (מקור - TICA).

מערכת הצ'ילרים המשמשת לקירור האוויר בכניסה לטורבינה, לצורך הגדלת תפוקתה, מוזנת בד"כ ע"י מתח גבוה (ציור מס' 4), אך קיימת גם אפשרות של הפעלה באמצעות קיטור בטכנולוגיות שתפורטנה בהמשך (ציור מס' 5).



Schematic Flow Diagram for a Combustion Turbine Plant Using Chillers for TIC

ציור מס' 4 - קירור האוויר הנכנס לטורבינה באמצעות מערכת צ'ילרים מוזנת מתח (מקור - TICA).

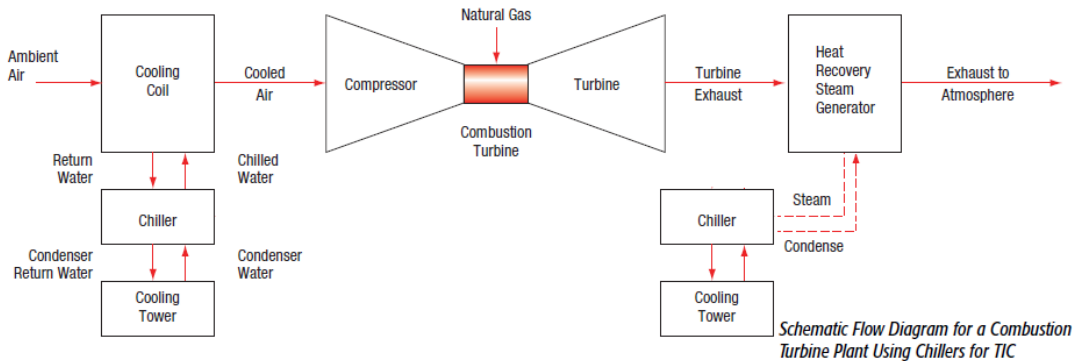


Schematic Flow Diagram for a Combustion Turbine Plant Using Chillers for TIC

ציור מס' 5 - קירור האוויר הנכנס לטורבינה באמצעות מערכת צ'ילרים מוזנת קיטור (מקור - TICA).

• קו-גנרציה - קירור באמצעות קיטור

הקיטור המופק מניצול החום השירי של גזי פליטת טורבינת הבעירה, יכול לשמש כמקור אנרגיה להנעת צ'ילרים לייצור מים קרים או תמלחת קרה (ציור מס' 6). הטכנולוגיות הרווחות הינן - טכנולוגיית ספיגה, ו/או טכנולוגיית דחיסה.

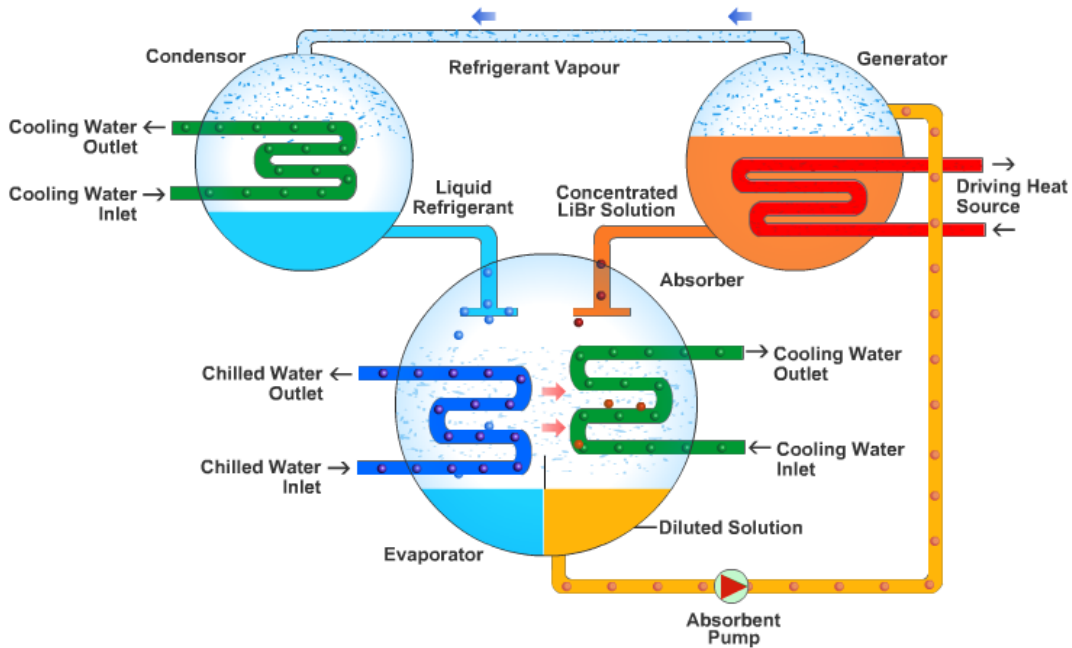


ציור מס' 6- שימוש בקיטור כמקור אנרגיה להנעת צ'ילרים למיזוג אוויר וקירור תהליכים (מקור - TICA).

3. שיטות קירור באמצעות קיטור:

- צ'ילר במחזור ספיגה

טכנולוגיה זו מתבססת על שילוב של חומר קירור - מים, וחומר סופג - ליתיום ברומיד. בניגוד לתהליך קירור רגיל שבו משתמשים במדחס מכני להסעת חומר הקירור מהמאדה למעבה, הרי שבתהליך הספיגה משתמשים בתהליך תרמו-כימי לצורך כך. בטכנולוגיה זו משמש הקיטור כמקור חום חיצוני להפרדת אדי המים (החומר המקרר) מתמיסת הליתיום ברומיד (החומר הסופג). תהליך הקירור מתבצע במאדה בתת-לחץ, ואקום של כ- 1/100 אטמ' (ציור מס' 7).



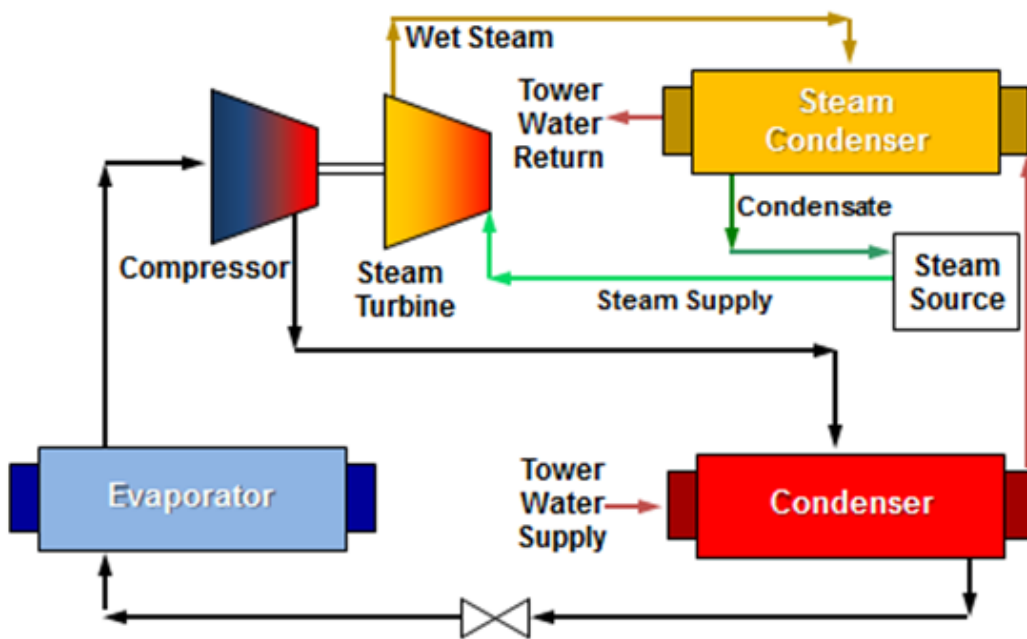
ציור מס' 7- עיקרון פעולה בסיסי של צ'ילר ספיגה שבו משמש הקיטור כמקור חום חיצוני להפרדת חומר הקירור (מים) מחומר הספיגה (ליתיום ברומיד) (מקור - Thermax).



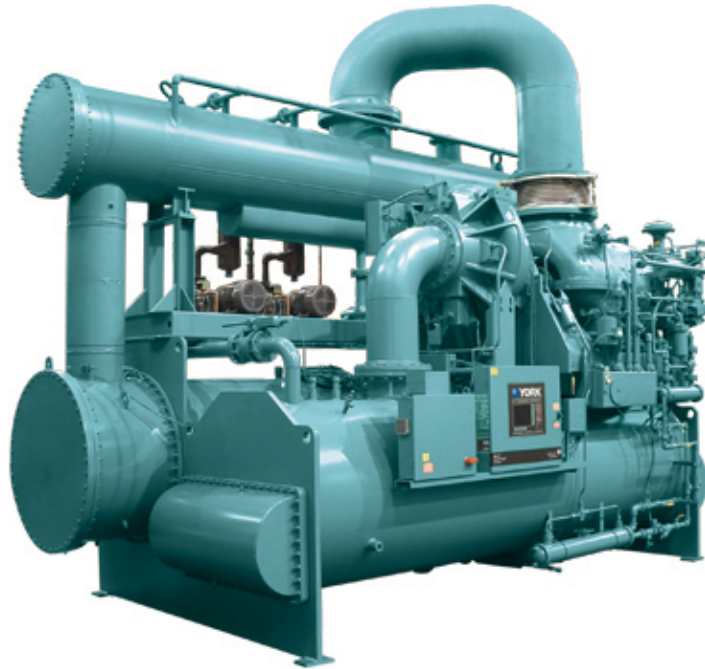
ציור מס' 8 - צ'ילר ספיגה מתוצרת YORK לתפוקות קירור של 420-4800 KW (מקור - JCI).

• צ'ילר במחזור דחיסה

טכנולוגיה זו מתבססת על מחזור דחיסת אדים מהמאדה למעבה כאשר המדחס המכני המשמש לצורך כך, מונע באמצעות טורבינת קיטור. טכנולוגיה זו שימושית בעיקר בתפוקות קירור גבוהות שבהן מתקבל יתרון טכנו-כלכלי ליישום מערכות מסוג זה. מחזור הקיטור בצ'ילר מתבסס על עיקרון מחזור רנקין וכולל טורבינת קיטור ומעבה נפרד לעיבוי הקיטור (ראה ציוד מס' 9).



ציור מס' 9 - עיקרון פעולה בסיסי של צ'ילר דחיסה שבו משמש הקיטור להנעת טורבינה (מקור - JCI).



ציור מס' 10 - צ'ילר מונע טורבינת קיטור מתוצרת YORK לתפוקות קירור של 2400-9800 KW (מקור JCI).

סיכום

שילוב צ'ילרים באמצעות קוגנרציה בתחנות כוח באמצעות קיטור מתבצע בשני אופנים:

1. קירור האוויר הנכנס לטורבינת הבעירה לצורך שיפור יעילות ייצור החשמל של תחנת הכוח.
2. הפקת של מים קרים/תמלחת קרה לשימוש לצרכי מיזוג אוויר ו/או תהליכי צינון, מחוץ לתחנה.

הטכנולוגיות הרווחות בשימוש הינן:

1. טכנולוגיית ספיגה- באמצעות תהליך תרמו-כימי שבו משמש הקיטור כמקור חום לצורך הפרדת חומר הקירור (מים), מהחומר הסופג (ליתיום-ברומיד).
2. טכנולוגיית דחיסה- באמצעות מדחס מונע טורבינת קיטור, במעגל דחיסת אדים קונבנציונלי.

השימוש בטכנולוגיות נקבע בהתאם ליישום הספציפי והיתרונות הטכנו-כלכליים הגלומים בו.