

טורבינות גז - ממבט המשתמש

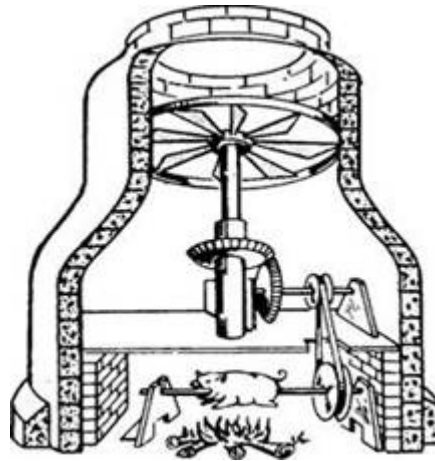
מיכאל ביקסון

מנהל תחנת כוח רדינג- גזר, חברת חשמל לישראל בע"מ

1 הקדמה

ניסיונות לבנות מכונה דומה לטורבינה גז, נעשו לפני זמן רב, ידוע תיאור של טורבינה פרימיטיבית שנעשתה על ידי הרון מאלכסנדריה (10 - 70 לפנה"ס). גם ברישומים של Leonardo da Vinci (1550) נמצא ציור המתאר אוויר חם מהאש העולה דרך סדרה של להבים ושיפוד מסתובב לצלייה – תרשים 1.

בשנת 1791 קבל האנגלי John Barber פטנט על המכשיר, שרוב מרכיביו המצויים בטורבינות גז מודרניות ובשנת 1872 פיתח Dr Franz Stolze מנוע טורבינת גז.



תרשים 1: Leonardo da Vinci, 1550

התפתחות טכנולוגיות טורבינות גז לצורך תעופה החלה בשנות ה-30 של מאה הקודמת יל ידי Hans von Ohain Dr. מחברה גרמניות Heinkel Werke, יל ידי Dr. Anselm Franz, Max Adolf Müller, Rudolf Friedrich, Wilhelm Peppler מחברת Junkers, יל עדי Hermann Oestrich מחרת BMW, ומהנדס אנגלי Frank Whittle שהקים בשנת 1936 את חברת Power Jets Ltd אשר ייצרה מטוס סילון אנגלי הראשון.

במקביל החברות השוויצריות BBC ו-Escher-Wyss החלו פיתוח של טורבינות גז נייחות למטרות ייצור חשמל.

באותם שנים בנה מהנדס הונגרי György Jendrassik טורבינת גז ניסיונית קטנה בהספק של 72.4 כ"ס כאשר טמפרטורה כניסת גזים לטורבינה היא 475°C. שנה אחת מאוחר יותר

חברת BBC החלה הפעלה מסחרית בעיר Neuchâtel של יחידת טורבינת גז לייצור החשמל

לגיבוי במצבי גבע של המערכת בהספק 4000kW ונצילות 18%. הניסוי הנוסף שיש לציין זה ייצור על ידי חברת Escher-Wyss טורבינת גז בהספק 2000kW ונצילות של 31.5%.

בשנת 1939 חברת Siemens מקבלת הלטה אסטרטגית של כניסה לפיתוח טורבינת גז לייצור חשמל אבל בתחילת שנת 1940, עם פרוץ מלחמת העולם השנייה, פרויקטי פיתוח טורבינות גז לייצור חשמל נעצרו.

רק בשנת 1948, במגבלות שהוטלו על חברות גרמניות לאחר המלחמה, מתחילות תחילה עבודות תיאורטית על

ידי חברת Siemens לפיתוח טורבינת גז להפעלת תחנת הכוח כאשר לטמפרטורת כניסה לטורבינה היא 620-640°C ונצילות 24.3%.

חברות בעולם הכילו בפיתוח טורבינות הגז על פי דרישות שוק לייצור חשמל בהתבסס על הנחות יסוד הבאות:

- השקעת הון נמוכה
- שימוש בדלק זמין

- תפוקת שיא אפשרית באותו הזמן

- אמינות גבוהה

- נצילות מקסימאלית

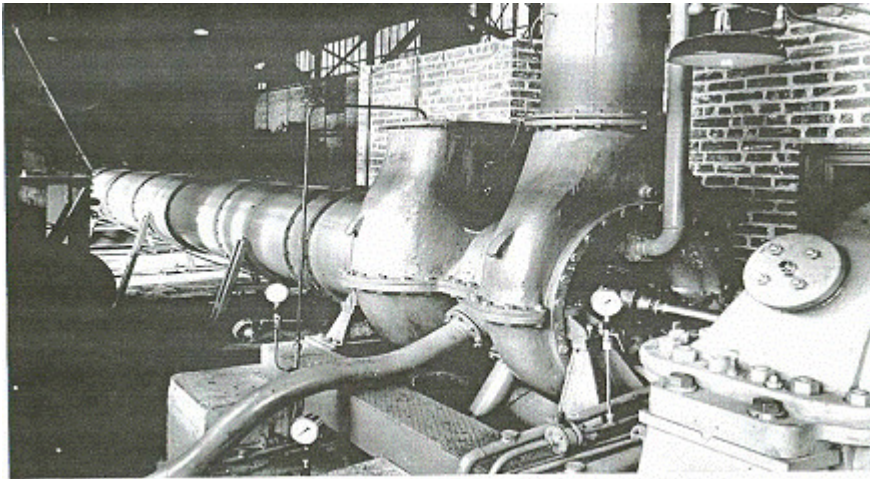
- אין צורך במי קירור

החברות פיתחו תאי שריפה מרופדות באריחי קרמיקה עמידות לטמפרטורה גבוה ללא צורך בקירור מים של תאי השריפה ופלדות עמידות בטמפרטורה גבוהה. עד שנות ה-50 של מאה הקודמת, בגלל הגבלות החומרים טמפרטורת הכניסה לטורבינת הייתה מוגבלת ל- 640°C .

לצורך הבטחת האמינות מרבית לעבודה של 100.000 שעות אקוויולנטיות (EOH) מרכיבים שונים נלקחו מטורבינות קיטור (לדוגמה מבנה מסבי הטורבינה).

דרישות לעמידה של הנעות רבות עבור יחידות המופעלות במצבי שא"י ביקוש הביאו לפיתוח מבנה הרוטורים מבוססת על "דיסקים" העומדת במחזורי התפשטות התרמית רבות.

אל מנת לעלות טמפרטורת גזי שריפה בכניסה לטורבינה ועליית נצילות כתוצאה מכך, היצרנים יכלו לפתח מערכות קירור להב גז טורבינה בשתי טכנולוגיות קירור שונות: קירור להבי הטורבינה המבוסס על אוויר דחוס המופק על ידי המדחס וקירור של להבי הטורבינה על ידי נוזל.

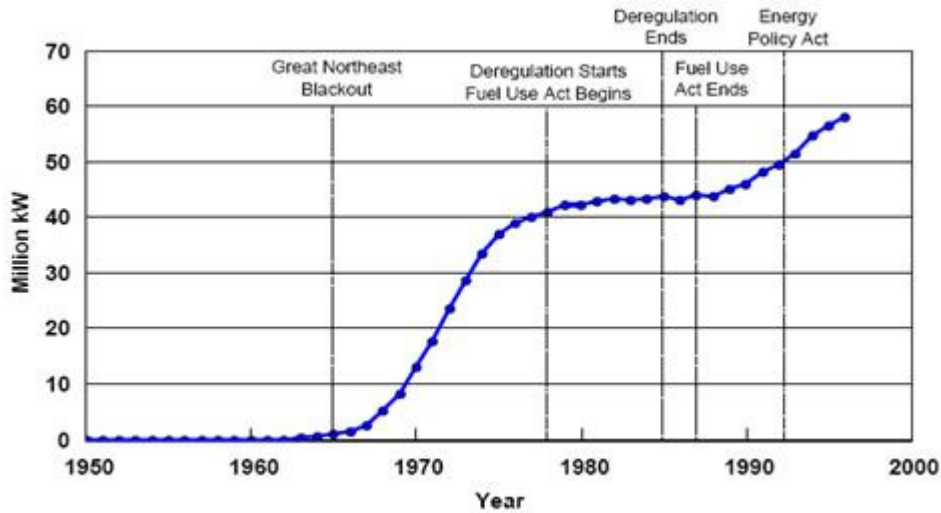


תרשים 2 : טורבינת גז 1.5 MW VM 1 של חברת Siemens (1950)

ניתוח המגמות במשק האנרגיה העולמי מצביע על הצורך ההולך וגובר בהקמת מתקני ייצור חדשים כתוצאה מכמה סיבות: הגברת הצריכה כתוצאה מעליה ברמת החיים, החלפת מתקנים אשר סיימו את אורך חייהם הטכני, שינוי תמהילי דלקים, החדרת מתקני ייצור מאנרגיה מתחדשת ועוד.

אסונות ותקלות בתחנות כוח גרעיניות אילצו מקבלי החלטות בלא מעט מדינות להפחית את השימוש בתחנות המבוססות על טכנולוגיה זו ולאחר חלופות אחרות. גם למדיניות הרגולציה בשוק ייצור החשמל יש השפעה על פיתוח טכנולוגיות.

בתרשים 3 מוצגת השפעת קבלת החלטות על שוק התקנות טורבינות גז בארה"ב. לאחר העלטה הגדולה ב-9 נובמבר 1965, שבמהלכה נותרו 30 מיליון צרכנים ללא אספקת חשמל למשך 12 שעות, הוקם ארגון NERC (North-American Electric Reliability Council) על מנת לשפר את אמינות מערכת החשמל בצפון אמריקה. ארגון NERC הציב רשימת דרישות בפני יצרני החשמל שעיקרן גיוון אמצעי הייצור ומעבר ליחידות שהפעלתן מהירה. המשמעות הייתה פיתוח מואץ והקמה של יחידות ייצור בטכנולוגית טורבינות גז.



תרשים 3 : השפעת רגולציה על שוק טורבינות גז בארה"ב במאה ה-20

החלטות הקונגרס האמריקאי בשנת 1975 על מדיניות חיסכון בדלקים (Corporate Average Fuel Economy (CAFE) ותחילת דה-רגולציה בשוק החשמל האטו את קצב התקנת טורבינות הגז. בשנת 1992 אישר הקונגרס האמריקאי מדיניות של התייעלות אנרגטית (Energy Policy Act) כלומר שימור אנרגיה, ניהול אנרגיה וגיוון סל הדלקים. מדיניות זו גרמה אף היא להאצת הפיתוח בטכנולוגית טורבינות הגז. בשנת 2005 עודכנה המדיניות על ידי הממשל ברשותו של George W. Bush והוענקו תמריצי מס וערבויות לייצור אנרגיה מסוגים שונים.

קיום ופיתוח משק לייצור חשמל מחייב תכנון לטווח ארוך. החלטות נבונות על השקעות לטווח ארוך יניבו פרי רק לאחר עשור זאת לעומת החלטות שגויות עלולות לתת אותותיהן בטווח הקצר. העשור הנוכחי הוגדר זה מכבר ע"י אנליסטים כ"עידן הזהב של הגז הטבעי" [2].

כמויות הגז הטבעי, פיתוח מערכות להולכתו והיותו משאב ידידותי לסביבה הגבירו את הביקוש לסוג זה של דלק בתחנות כח.

ייצור טורבינות גז מכל הסוגי, הסתכם בשנת 2010 לסך של 42.1 מיליארד דולר, כאשר מדובר בגידול של 2.6% לעומת שנת 2009 וגידול של 15% לעומת ממוצע שנתי בעשר השנים האחרונות.

אנליסטים של **Forecast International** צופים ששוק טורבינות הגז יגיע בשנת 2015 לסך של 56 מיליארד דולר בערך וישבור את השיא הנוכחי של הייצור אשר עמד על 48.9 מיליארד דולר בשנת 2001 [6].



תרשים 4 : ייצור עולמי של גז טורבינות

ללא ספק, טורבינות הגז תופסות נתח שוק גדול עבור תחנות הכוח, אשר היוו 12.9 מיליארד דולר בשנת 2010. תחנות כוח בטכנולוגית טורבינות גז מהוות 22% מהחשמל המיוצר בארה"ב ו- 46% מהחשמל המיוצר בבריטניה.

על מנת להיענות לדרישות השוק, שוקדים יצרני טורבינות הגז על פיתוח של יחידות ייצור בגדלים שונים ולשימושים מגוונים. לטכנולוגיות טורבינות הגז יתרונות רבים, אך גם לא מעט חסרונות שעל הקונה להיות מודע להם ועל כן נעמוד עליהם בהמשך.

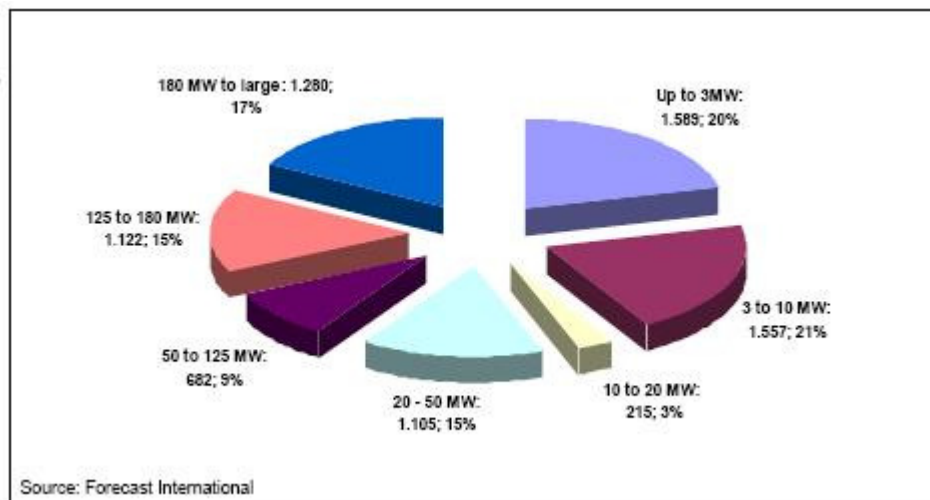
הקמה, תחזוקה ותפעול של טורבינת גז, כרוכה בהעסקת צוות עובדים מתאים מבחינה מקצועית ואנושית. תהליך ההכשרה וההסמכה של העובדים, הינו מורכב, ממושך ויקר.

הנהלה בעלת מעוף וחזון, צריכה להעריך כיצד יתמודד הצוות ברגעי האמת עם טיפול בתקלות ומה תהיינה השלכותיהן הכלכליות.

2 שוק המשתמשים

יצרני הציוד לייצור חשמל הפנימו זה מכבר כי טכנולוגיית תחנת הכוח הקיטורית מיצתה את עצמה ובאמצע שנות ה-70 שבמאה הקודמת, ניכרה מגמת עליה בביקוש למתקני חשמל על בסיס טורבינות גז. תחילה, כמתקנים לייצור חשמל בשיאי הביקוש ובהמשך כמערכות מסוגים שונים שהחלו לנגוס נתחים גדולים בעוגת הייצור החשמל. בשלב זה נאלצו היצרנים להתמודד עם מספר רב של בעיות טכניות כגון: יציבות הבעירה, ייצור רכיבים מחומרים עמידים בטמפרטורות גבוהות, שיפור ביצועים, שיפור נצילות, הפחתה בפליטת מזהמים, אינטגרציה בין חלקי המכונה, פיתוח מערכות בקרה והגנה מתקדמות ועוד.

היצרנים מפתחים טורבינות גז בהספקים גדולים ונצילות גבוה בטכנולוגיות חדשות מחד, ומאידך, שוק המשתמשים דורש יישומים חדשים למילוי דרישות לייצור מבוזר ותעשייתי, לייצור במערכות מבודדות, לייצור מערכות אספקת חשמל בחירום ועוד. האפשרות בשילוב שני מעגלים תרמו דינאמיים ויותר, הביא ליישומי תחנות כוח במחזור משולב, מערכות המספקות חום, קור ואנרגיה חשמלית בו זמנית (CHP, CCHP).



תרשים 5 : ייצור טורבינות גז לשנים 2005-2014 – חלוקה לפי הספקים.

3 יתרונות וחסרונות של טורבינת גז

מתקנים המבוססים על טכנולוגית טורבינות גז, מאפשרים ניצול מרבי של אנרגיה ואיבודי חום קטנים מאוד. שיטת ניצול האנרגיה כולל ייצור מים חמים עבור מערכות חימום, קיטור לצרכים טכנולוגיים ומים קרים למערכות מזוג אויר כל אלה מאפשרות במתקנים משולבים להגיע למקדם ניצול הדלק של 94%.

יתרון בולט של תחנות כוח מצוידות בטורבינות הגז, הוא הנצילות הגבוהה, הדבר הושג באמצעות פיתוח שיטות לקירור להבי טורבינת הגז, שימוש בחומרים מורכבים לייצור וציפוי הלהבים ותאי השריפה, דבר שאפשר העלאת טמפרטורת השריפה ולפתח דורות נוספים של טורבינות הגז.

היום נפוצות בשוק טורבינות הגז עבור תחנות הכוח שלוש טכנולוגיות עיקריות: H, F, E.

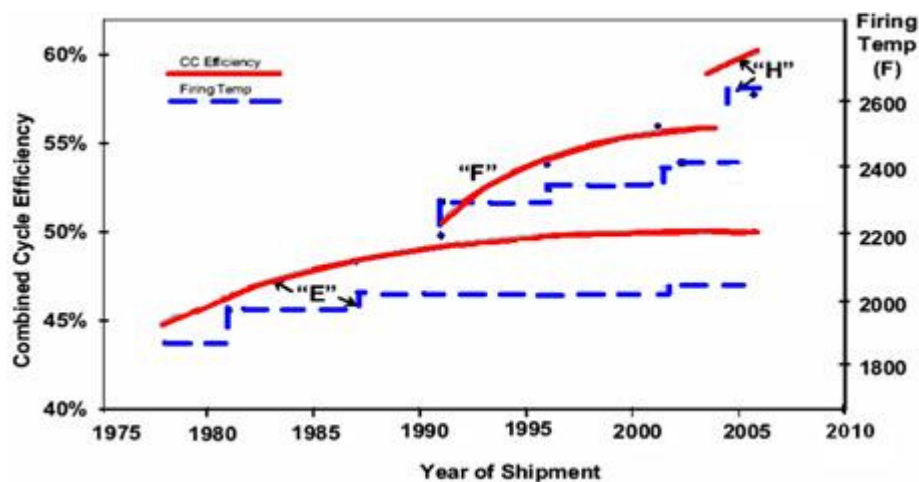
טכנולוגיה E בעלת שוק רחב יחסית של יצרנים, ספקי חלקי חילוף ושרותי תחזוקה, נפוצה באפליקציה של טורבינת גז תעשייתית לאספקת חשמל בשעות שיא הצריכה, הפעלה מחזורית "Two Shift Operation" ותחנות כוח במחזור משולב בנצילות עד 48-50%.

טכנולוגיה F מיוצרת על ידי מספר מצומצם של יצרנים מעל 10 שנים ועדיין בשלבי שיפור מתמיד. טורבינות גז בטכנולוגיה זו נפוצות ביישומים של תחנות כוח מחזור משולב בהספקים מעל 220 מגו"ט נצילות עד 58% ומתקני קוגנרציה.

תחנות כוח המצוידות בטורבינות גז בטכנולוגיה F לא מומלצות להפעלה במשטרים מחזוריים ומופעלות בעיקר בעומס בסיס "Base load".

החיסרון העיקרי של טורבינות גז בטכנולוגיה F, הוא התלות ביצרנים לצורך ביצוע בדיקות תקופתיות של הטורבינה וביצוע תחזוקה. יצרני הציוד קובעים מועדים נוקשים לעריכת בדיקות תקופתיות וביצוע עבודות התחזוקה רק על ידי עובדים מוסמכים. אי עמידה בדרישות אלה עלולה לגרום לאובדן של אחריות היצרן.

על מנת להבטיח זמינות כוח אדם מוסמך, חלקי חילוף עבור עבודות התחזוקה וטיפול בתקלות, מציעים היצרנים חוזים לטווח ארוך לאספקת חלקי חילוף, ביצוע בדיקות תקופתיות, תחזוקה מתוכננת והחלפה הדרגתית של חלקים מתכלים של המכונה. פעולות אלו מובילות לתלות כמעט מוחלטת ביצרן. לדוגמא, ללא חוזה תחזוקה לטווח ארוך - במקרה של תקלה - אספקת חלקי חילוף עלולה להימשך כ- 4 - 6 חודשים.



תרשים 6 : עליית נצילות גז טורבינות עם עליית טמפרטורת הבעירה.

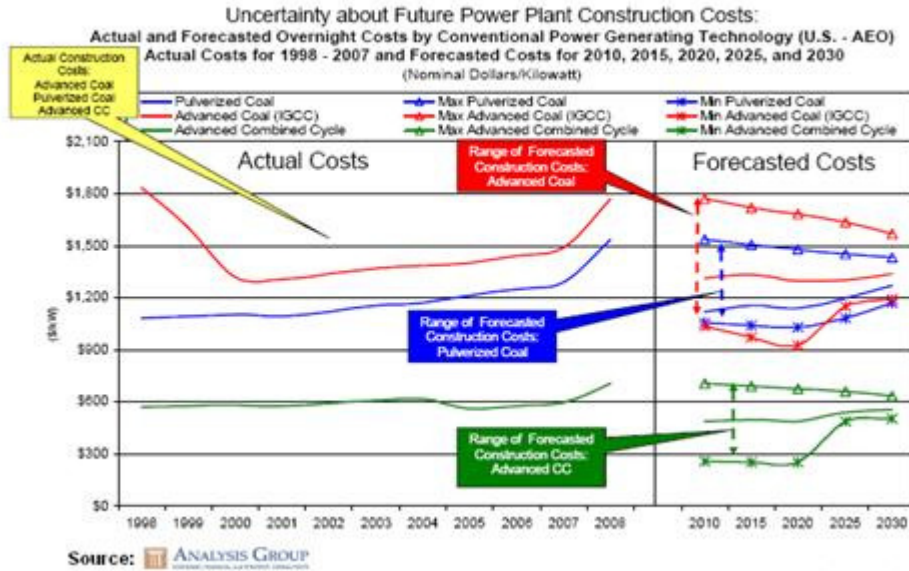
טכנולוגיה H היא טכנולוגיה חדשה יחסית, המתיימרת לעלות את נצילות תחנות כוח מסוג מחזור משולב מעל 60%. משתמשי הציוד חייבים להיות מודעים לכך שטכנולוגיה חדשה זו הינה בעלת סיכונים טכנולוגיים גבוהים לאור חוסר ניסיון בתפעול ותחזוקה ועלולה לסבול מתקלות מסוג "מחלות ילדות" של טכנולוגיות חדשות.

תחנות כוח המבוססות על טכנולוגיות טורבינות גז מיועדות להפעלה במשך 30-40 שנה, בתנאי שמתבצעות במלואן עבודות תחזוקה מתוכננות וביקורות תקופתיות. טורבינת גז מתוכננת ל- 120.000 שעות הפעלה אקוויולנטיות ושיפוצים מורחבים לאחר 25.000 ו-60.000 שעות.

תכנון תחנות כוח בטכנולוגיה טורבינות הגז מבוסס על מערכות מודולאריות, דבר שמקצר משמעותית את משך הקמת התחנות, ביצוע עבודות תחזוקה, שיפורים ושדרוגים של המערכות. כמובן ניתן למנות יתרונות נוספים:

· זמני תכנון והקמה קצרים.

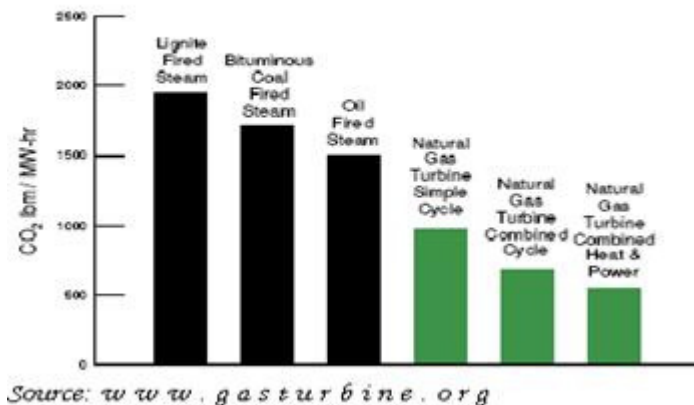
· מחיר נמוך יחסי של תכנון והקמה - מחירי הקמת תחנות כוח מבוססות טורבינות גז ירדו מ- 600 דולר ארה"ב לקו"ט מותקן בשנת 1991 ל- 350 דולר ארה"ב לקו"ט מותקן בשנת 1996. אנליסטים צופים 3 שבשנים הקרובות המחיר ינוע בין 325 ל- 400 דולר ארה"ב [].



תרשים 7: מחירי הקמת תחנות הכוח

- אפשרות להקמה דו-שלבית של טורבינת הגז וטורבינת הקיטור.
- הפעלה בשני סוגי דלקים ומעבר ביניהם ללא הפסקת המכונה.
- מספר התנעות של טורבינות גז תעשייתיות מגיע ל-300 בשנה, מה שמאפשר גמישות בהפעלתן Two Shift Operation ועבודה במשטר " ".
- 65-76 dB רעש נמוכה בהפעלה.
- צורך בכוח אדם קטן יחסית להפעלת התחנה.
- רמה גבוהה של מערכות בקרה והגנה.
- רמה נמוכה של פליטות מזהמים.

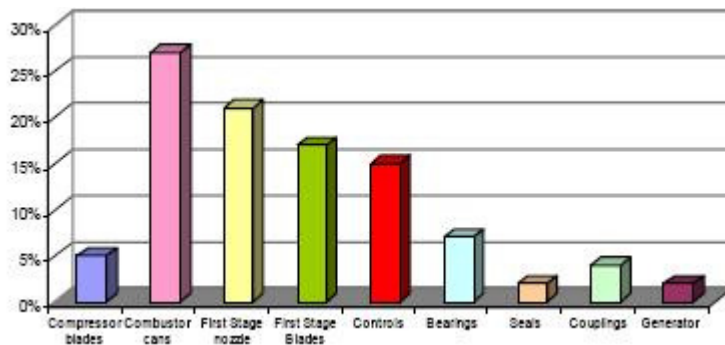
CO₂ Emissions



תרשים 8: פליטות CO₂ בטכנולוגיות שונות של ייצור חשמל

החיסרון הגדול של הטכנולוגיות הללו, ושל כל משק האנרגיה, הוא מחסור כרוני של בעלי מקצוע במקצועות "קלאסיים" ועלויות העסקה גבוהות. מגמה זו, הובילה לפיתוח מערכות שליטה, הגנה ובקרה משוכללות המאפשרות שליטה על תהליכים, אבחון מצב והשבתת הייצור במצבים חריגים. היצרנים מציידים יחידות ייצור עם מערכות איסוף נתונים תפעוליים ומנגנון אשר מועבר את הנתונים למרכזי הנדסה של היצרן לצורך מעקב ובקרה על עבודת המכונה. במידה ומתגלים שינויים חריגים בנתונים, מעביר מרכז ההנדסה של היצרן הנחיות לביצוע פעולות מתקנות או הפסקת המכונה במצבים קיצוניים.

משתמשים של טורבינות גז מתמודדים עם מספר גדול יחסית של תקלות, במיוחד בשנים הראשונות להפעלתן. שורש הסיבות לחלק מן התקלות נובע מתכנון לקוי, התקנה או הכנסה לפעולות לקויה, אך חלק גדול של התקלות יש לייחס לפגמים בייצור ו"מחלות ילדות" של טכנולוגיות חדשות. יצרני טורבינות גז משדרגים כל עת את הטכנולוגיה, בין היתר הודות לניסיון ההפעלה המצטבר של המשתמשים.



תרשים 9: תרומת המרכיבים העיקריים של טורבינת גז לאורך זמן השבתה.

4 מסקנות המשתמש

4.1 טכנולוגיה

בנוסף לשלושת הטכנולוגיות אשר צוינו לעיל (E, F, H), קיימות מספר רב של קונפיגורציות התקנת טורבינת גז וחיבור החלק הקיטורי של מחזור משולב.

על בחירת הטכנולוגיה משפיעים נתונים רבים אך קודם כל מבנה תעריף החשמל.

תעריף שכולל רק תשלומי אנרגיה זמינות, לא מאפשר לנצל את כל היתרונות של טכנולוגיות טורבינות הגז. שוק ייצור החשמל, בנוסף לאנרגיה זמינות, כולל מוצרים רבים נוספים שמנהל המערכת זקוק להם וחיוב לשלם עבורם. לדוגמה: הנעות והפסקות לא מתוכננות, משטרי הפעלה Two Shift Operation, משטרי הפעלה לשמירת עומס/תדר (LFC), אספקת אנרגיה ראקטיבית על חשבון אנרגיה אקטיבית ($\cos \phi$ נמוך), תעריפי גיבוי ועוד.

גם ליציבות הרגולציה יש משקל בבחירת הטכנולוגיה של תחנת הכוח לייצור חשמל מאחר ושינויים דחופים בתעריף ובמבנה הרגולציה מבריחים שחקנים שטרם נכנסו לשוק ייצור החשמל ומשפיעים על הפעילות הפיננסית של שחקנים קיימים.

הניסיון המצטבר בתפעול ותחזוקת טורבינות גז, הינו אמת המידה הטובה ביותר בכל הנוגע להחלטה על טכנולוגיה מעודפת. בטכנולוגיה העדכנית ביותר טמון סיכון טכנולוגי גבוה ביותר ויש לרכוש את הטכנולוגיה המוכחת ולא האחרונה.

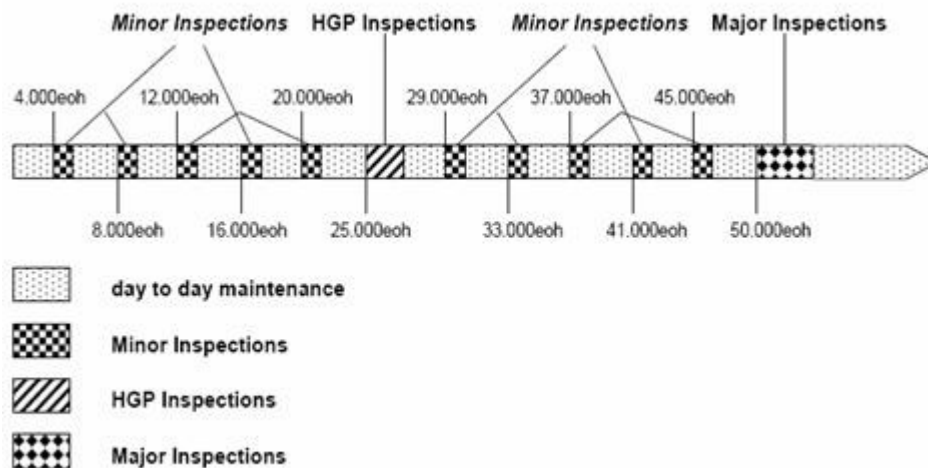
4.2 תחזוקה

במהלך שלושת שנות ההפעלה הראשונות, סובלת טורבינת הגז מתקלות שהן "מחלות הילדות" וככל שהטכנולוגיה חדשה יותר, כך זמן מחלות ילדותה ארוך יותר. הסיבות לכך רבות ומגוונות: טעויות תכנון והרכבה, חוסר ניסיון המפעילים, אך בעיקר אי שלמתה של הטכנולוגיה החדשה. תחנות הכוח מהוות "שולחן בדיקות" מצוין ליצרני טורבינות גז.

אך יש לזכור כי קיימות תקלות אופייניות לטורבינות גז: כשלים ברכיבים מכאניים, עייפות וזחילת החומר, בעיות עקב טמפרטורות אש גבוהות או נמוכה, אורך חיים של ציפוי להבי טורבינה, שלמות בידוד תרמי של תא שריפה, שלמות להבי רוטור מדחס, רעידות ושיזור הרוטור, יציבות הבעירה, שליטה על פליטות NOx וכו'.

יצרני המכונות ממליצים על שינויים ושיפורים עבור טורבינות הגז, כמובן על חשבון המשתמש, דבר שיוצר רושם של "סימפוניה בלתי גמורה".

פילוסופיית תחזוקת טורבינות גז מבוססת על ביצוע תחזוקה מונעת שמועדי ביצועה נקבעים בעקבות מספר רב של נתונים שמרכיבים את המושג "שעות עבודה אקוויולנטיות".



תרשים 10: לוחות זמנים וסוגי תחזוקה טיפוסיים

בתרשים 8 מוצגים לוחות הזמנים וסוגי שיפוצים טיפוסיים במהלך תקופה של 50,000 שעות פעולה אקוויולנטיות של טורבינת הגז. שיטת חישוב שעות פעולה אקוויולנטיות שונה לכל יצרן אך מבוססת על נתונים הבאים: שעות הפעלה, מספר הנעות, מספר הפסקות דחק, עומס שממנו היחידה נפסקה, זמן עבודה בדלק עיקרי ודלק משני, איכות הדלקים, שעות שימוש בהזרקת מים להורדת פליטות תחמוצות חנקן ועוד. המשמעות היא שלוח הזמנים ועלות התחזוקה מונעת מושפעים ממשטרי ההפעלה של טורבינת הגז.

בתרשים 9 מוצגת דוגמא לחישוב שעות אקוויולנטיות של אחד היצרנים:

$$t_{EOH} = a_1 n_1 + \sum_{i=1}^n t_i + f \times w \times b_1 t_1$$

t_{EOH} = equivalent operating hours

n_1 = number of starts

a_1 = 10 (start factor)

t_i = equivalent hours due to rapid temperature changes

n = number of rapid temperature changes

t_1 = operating hours at up to base load

b_1 = 1 (base load factor)

f = fuel weighting factor

$f = 1.0$ for fuel gas and distillate fuels

$f = 1.5$ for distillate fuels which slightly exceed limits stipulated for the pollutants Na + K or V

w = weighting factor for injection of water

$$w = 1 + 0.45 \frac{\dot{m}_W}{\dot{m}_F}$$

\dot{m}_W = injected water mass flow (in the emulsion) (maximum 100% of fuel mass flow)

\dot{m}_F = fuel mass flow

תרשים 11: נוסחת חישוב שעות אקוויולנטיות

רוב המדינות אינן מכשירות כוח אדם מקצועי לצורך תפעול ותחזוקת מתקנים בטכנולוגיות חדשות, דבר המאפשר ליצרני הציוד לשלוט על שוק מתן שירות וכמובן גם על המחירים.

היצרנים שומרים על הידע כך שמגבילים את המשתמשים ביכולת רכישת הידע החיוני לתפעול ותחזוקת המכונות. כתוצאה מכך, רוב המשתמשים רוכשים מיצרנים חבילות תחזוקה לטווח ארוך אשר כוללות מתן שירותי מומחים לתחזוקה שוטפת ולטיפול בתקלות.

גם אצל היצרנים קיימת נזילות כוח אדם הפוגעת בטיב השירות, כ"כ המומחיות שלהם הינה בדרך כלל בתחומים צרים ביותר דבר שמחייב שימוש במספר רב של המומחים.

המסקנה היא, שידע וניסיון הם מוצרים לכל דבר ואפשר לסחור בהם.

לאור המחירים הגבוהים של חוזי התחזוקה ואי שביעות הרצון מרמת השירות, החליטו מספר משתמשים על הפסקת חוזי התחזוקה. בפעולה מסוג זה טמונים סיכונים רבים ונדרשת רכישת מלאי חלקי חילוף גדול, הכשרת כוח אדם רב ושימוש בספקי חלקי חילוף ושרותי תחזוקה חילופיים. אך, ייצור חלקי חילוף ושיפוץ חלקים "חמים" של טורבינות הגז, מותנה בקבלת רישיון מיצרן הטורבינות ויש לקחת בחשבון שעבור טורבינת גז טכנולוגיית H-I F אין תחרות בין יצרני חלקי חילוף וקבלנים לביצוע תחזוקה מונעת.

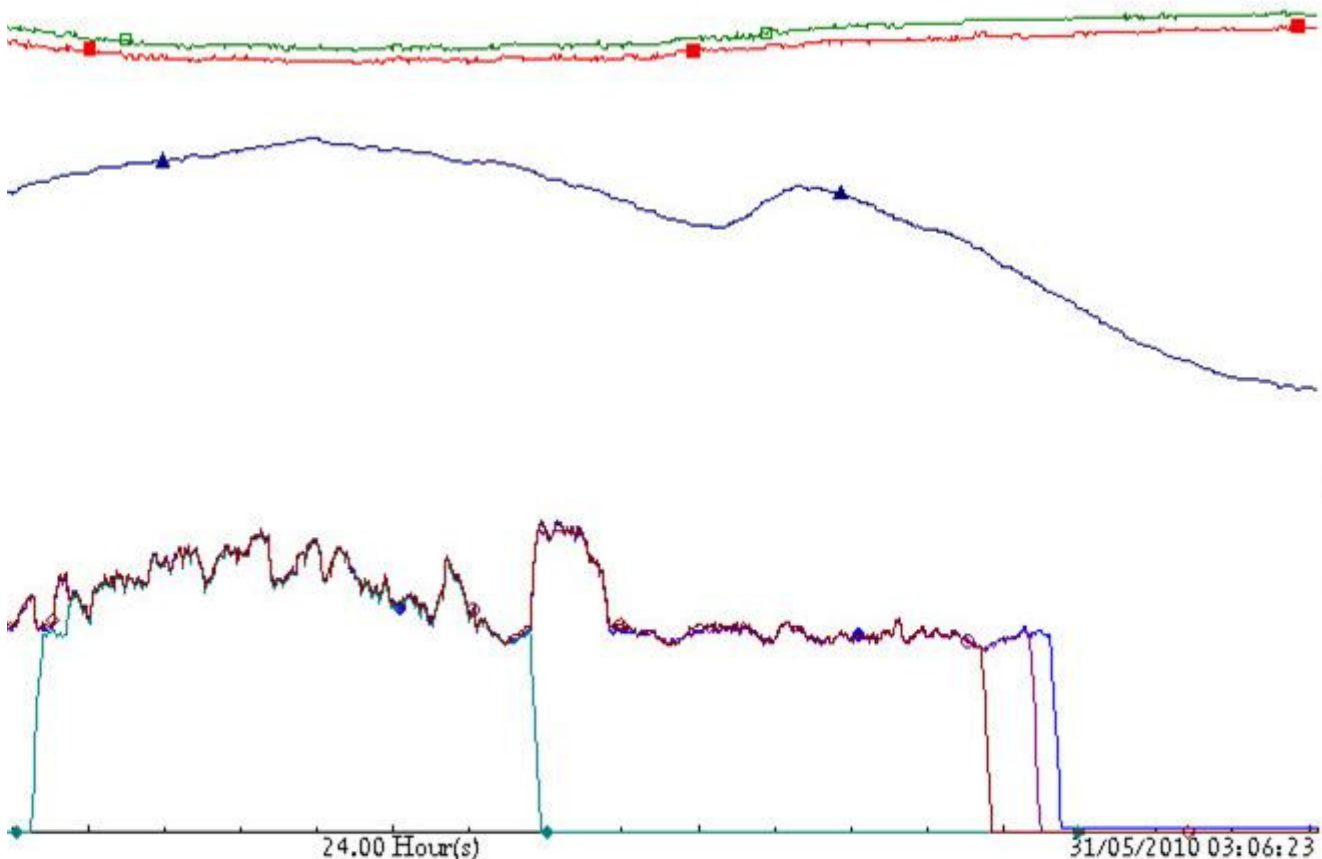
ועל כך אומרים המשתמשים: "הפעלה ותחזוקה טורבינת גז ללא חוזה תחזוקה עם היצרן זה עסק יקר אך הפעלה ולתחזוקה עם החוזה זה עסק יקר עוד יותר".

יצרני חשמל בטכנולוגית טורבינות גז חייבים לדעת שבתוך מחזור החיים של תחנת הכוח המצוידת בטורבינת גז, עלות האחזקה הינה כפולה מעלות ההקמה.

4.3 תפעול

נתונים מראים כי ביצועי טורבינת הגז מתוכננים לעבודה בעומס בסיס, הפעלה בדלק עיקרי ובתנאי ISO שהם טמפרטורת הסביבה - 15°C , לחות יחסית - 60% ובלחץ אטמוספרי של פני הים. כל חריגה מנתונים האלה משפיעה באופן משמעותי על ביצועים ואורך חיים של המכונה. לדוגמא, עליה או ירידה בטמפרטורה ב- 10°F גורמת לשינוי של 4% בהספק המכונה יורדת הנצילות ב- 1%; או כל שינוי של 1000 רגל בגובה במעמד התקנת הטורבינה מפחית את הספק המכונה ב-3%.

יש לציין כי הפעלה מחזורית (Two Shift Operation) של טורבינות גז בטכנולוגיה E הינה בעלת ניסיון טוב. זאת לעומת, הפעלה במשטר זה של טורבינות בגז בטכנולוגיה F וטורבינות גז במחזור משולב נתפסת עדיין כ"טריטוריה לא נודעת".



תרשים 12: עקומות עומס יחידות תח"כ גזר לאומת עומס כללי של מערכת החשמל במהלך 24 שעות

בתרשים 10 מוצגת דוגמא של הפעלת ששת טורבינות הגז של תחנת הכוח גזר בעלת ארבע טורבינות גז במעגל פתוח בטכנולוגיה E ושתי יחידות מחזור משולב בטכנולוגיה F.

דוגמה זו מראה על ניצול מרבי של יתרונות הטכנולוגיה. יחידות פתוחות בטכנולוגיה E (11, 12, 21, 22), בעלות זמן הפעלה קצר ביותר מופעלות לטובת מערכת הארצית בשעות הבוקר עם עליית עומס כלל ארצי ומופסקות בשעות הערב עם ירידת העומס, קרי פעולה במשטר Two Shift Operation. במהלך שעות עבודתן מנוצלת גמישות תפעולית של יחידות ה"ל על ידי הפעלתן משטר לשמירת עומס/תדר (LFC), דבר שמתבטא בשינוי עומס בגבולות של בן +/- 5-15 מגווא"ט.

לעומת זאת, יחידות מחזור משולב בטכנולוגיה F (30, 40) מופעלות במשטר עומס בסיס (Base load) כאשר יחידה אחד מופעלת במשך כל התקופה בעומס מרבי ויחידה שנייה יורדת בשעות הלילה לעומס מינימום לפי דרישת המערכת.

חלק גדול של טורבינות הגז מוגדרות על ידי היצרנים כיחידות "דו דלקיות" קרי מסוגלות לפעול בשני סוגי דלקים – דלק ראשי ודלק גיבוי. לרוב משמש גז טבעי כדלק הראשי וסולר משמש כדלק המשני. כדי לשמור על זמינות מערכות דלק גיבוי חייב המפעיל לבצע הפעלות תקופתיות לבדיקת קשירות מערכות דלק הגיבוי, דבר שמעלה את עלויות תפעול ומתקבל לא בעין יפה על ידי רשויות איכות הסביבה עקב הרעה ברמת פליטות מזהמים.

מעבר מסוג דלק ראשי לדלק גיבוי מתפשר לרוב המכונות ללא צורך להפסקת המכונה אך אחוז מעברים לא מוצלחים אשר גורמים להפסקת המכונה הוא גבוה.

כ"כ הפעלת היחידות בדלק גיבוי אינה מומלצת עקב ריבוי תקלות במערכות בעירה, אי יציבות השריפה ותחזוקה מרובה של מערכות בעירה ומתקני טיפול בדלק נוזלי.

5 מסקנה ראשית

יחידות לייצור חשמל מסוג טורבינת גז, הינן האפשרות הזמינה והטובה ביותר להתמודדות עם דרישות הגוברות בהקמת יחידות ייצור חשמל בשנים הקרובות. מגמות השיפור והשדרוג תמשכנה, על מנת להתאים את היצוד לדרישות המשתמשים וזאת בהתאם להערותיהם וללקחים שיופקו מאירועים שהתרחשו ועתידיים לבוא.

6 ביבליוגרפיה

1. Dipl.-Ing. Volker Leiste, VDI, Siemens Power Generation, "Development of the Siemens Gas Turbine and Technology, Highlights"
2. International Energy Agency. World Energy Outlook 2011, Special Report. "Are We Entering a Golden Age of Gas?"
3. Darian Unger, Howard Herzog. Massachusetts Institute of Technology Energy Laboratory. "Comparative Study on Energy R&D Performance: Gas Turbine Case Study". August 1998.
4. Dr. Tomás Alvarez – Technology foresight for Gas Turbines - Madrid 26 October 2006.
5. VGB PowerTech - Electricity Generation Facts and Figures - 2009/2010.
6. Lee S. Langston - Jet engines dominate the gas turbine industry, but other sectors are also primed for growth.
7. European Wind Energy Association. Wind Energy Scenarios up to 2030, March 2008.
8. Bill Schmalzer - Gas Turbines Facing Increasing Demand. International Turbomachinery. Handbook 2012, VOL. 52 No 6.