

ניתן לשפר את גרף מולייר!

שיפור יעילות ביצועי מעגל הקירור הבסיסי באמצעות "אקונומיזר"

מהנדס יוני מלאכי, סמנכ"ל תפעול,
חברת משב - הנדסת קירור ומיזוג אוויר

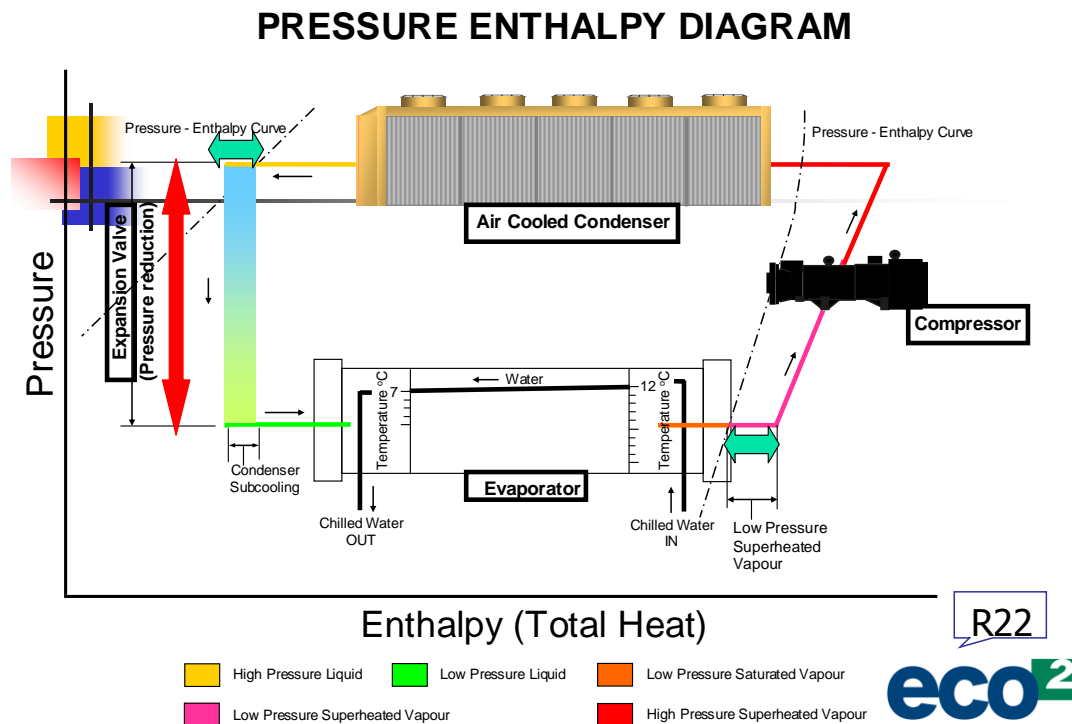
שיפור יעילות במעגל הקירור הבסיסי

לשיפור ביצועי מעגל הקירור חשיבות מרובה בתקופתנו שבה יצרני הציוד מחפשים כל דרך על מנת לחסוך בצריכת האנרגיה ולשפר עוד ועוד את מקדם הניצולת, המוכר לכולנו בר"ת: C.O.P Coefficient Of Performance

המעבר לשימוש במדחסי בורג במקום מדחסי כיום ליצרני יחידות קירור מים (צ'ילרים) להשתמש בטכנולוגיה המוכרת מתחום הקירור העמוק, כלומר, קירור עצמי בלחץ ביניים של הפאזה הנוזלית (הנוזל החם) במעגל הקירור: Intermediate Cooling

במאמר זה אסקור את הטכנולוגיות, לשיפור יעילות מעגל הקירור הבסיסי, המבוססות על עיקרון קירור עצמי בלחץ ביניים ונהוגות כיום בשימוש אצל יצרני הצ'ילרים המובילים:

1. מיכל הפרדה פאזית - Flash Tank Economizer
2. מחליף חום בהתפשטות ישירה - Direct Expansion (DX) Economizer



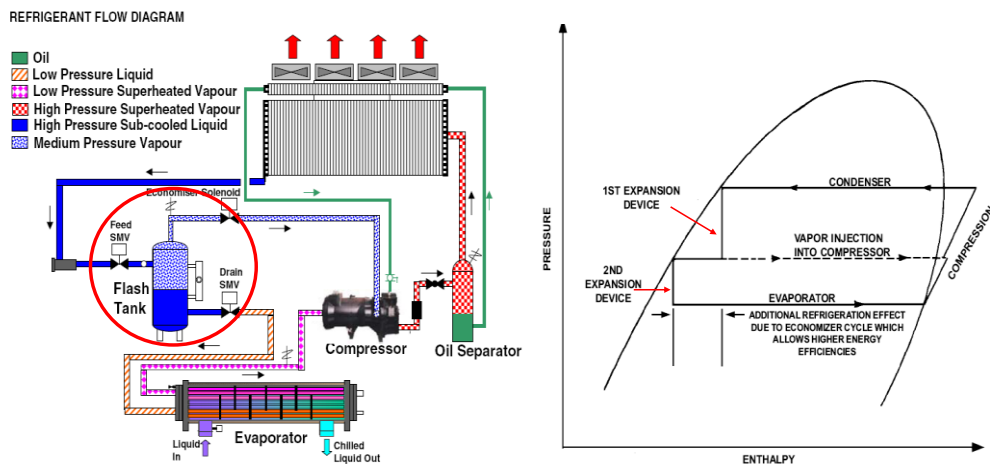
ציור מס' 1 - גרף מולייר - מחזור קירור בסיסי - צ'ילר

מדוע חשוב לקרר את הפאזה הנוזלית?

מחזור הקירור הבסיסי מתואר בציור מס' 1 שבו מעגל הקירור משורטט על גבי גרף מולייר. האזור המודגש בעיגול הוא הפאזה הנוזלית של הקרר ביציאה מהמעבה (הנוזל החם). קירור נוסף של הקרר ביציאה מהמעבה (Sub Cooling), ישפר את ביצועי מעגל הקירור וזאת ע"י הגדלת תפוקת הקירור במאייד וכתוצאה מכך שיפור ה-C.O.P. קירור היתר של הפאזה הנוזלית (הנוזל החם) ניתן להשגה גם בשיטות אחרות, אך מוגבלות, והנפוצות ביניהן: קירור נוסף ע"י מדיום חיצוני, לדוגמא - האוויר החיצוני, באמצעות הגדלת שטח מעבר החום במעבה ו/או: קירור נוסף ע"י הקרר עצמו, באמצעות הפאזה הגזית הקרה מצד היניקה של מעגל הקירור - ע"י תוספת מחליף חום קו נוזל-קו יניקה (Liquid-Suction Heat Exchanger). ואולם, השיטות המתבססות על קירור עצמי של הנוזל בלחץ ביניים יעילות יותר (קירור הנוזל מתבצע באמצעות הקזה ואידוי של חלק קטן מן הנוזל עצמו לצורך כך), ומאפשרות שיפור ה-C.O.P תוך שימוש באמצעים פשוטים ביותר.

שיפור יעילות באמצעות מיכל הפרדה פאזית - Flash Tank Economizer

Flash Tank Economizer (Open flash)



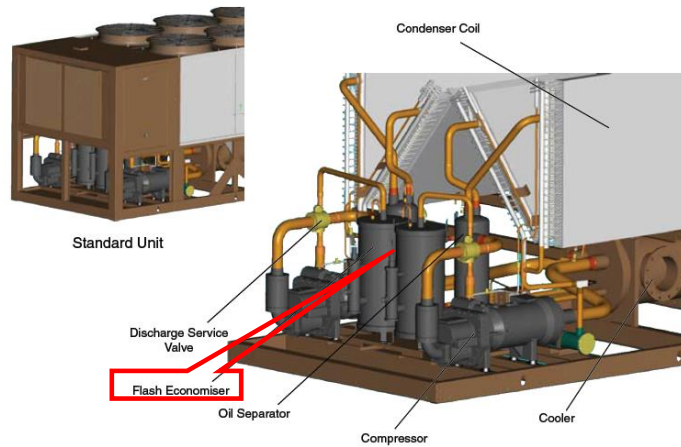
ציור מס' 2 - שיפור יעילות באמצעות תוספת מיכל הפרדה פאזית - Flash Tank Economizer

בשיטה זו מוסיפים למעגל הקירור מיכל הפרדה פאזית - Flash Tank Economizer, ביציאה מן המעבה. התפשטות הקרר מתבצעת בשתי דרגות, קירור היתר מושג ע"י הקטנת לחץ האדים של התערובת במיכל ההפרדה הפאזית ללחץ הביניים, הגורם לקירור הנוזל במיכל ע"י התאדות חלק ממנו. הפאזה הגזית מוחזרת לפתח היניקה במעלה הבורג של המדחס - Economizer port, וזאת בלחץ ביניים מיטבי - Intermediate Pressure. ניתן לראות את הגדלת תפוקת הקירור כמופיע באיור גרף מולייר אשר בציור מס' 2.



Flash Tank Economizer

COMPONENT LOCATIONS

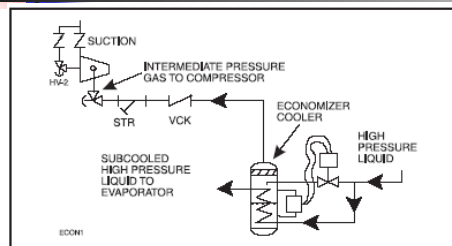


ציור מס' 3 - צ'ילר עם אקונומיזר מטיפוס - Flash Tank Economizer

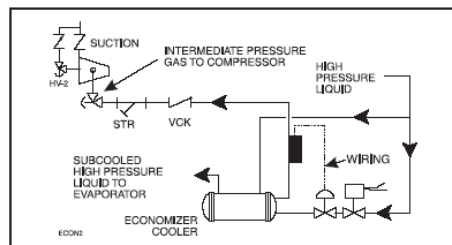
שיפור יעילות באמצעות מחליף חום בהתפשטות ישירה -

Direct Expansion (DX) Economizer

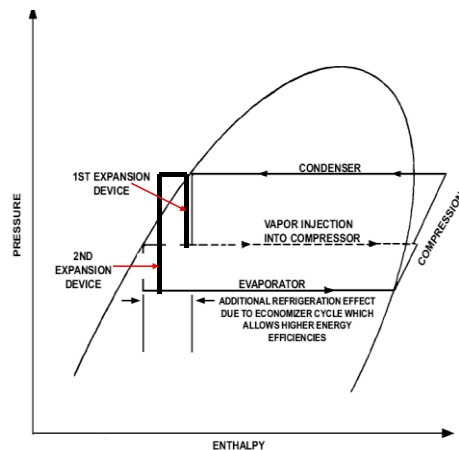
Shell and Coil Economizer (Closed flash)
Direct Expansion Economizer (D.X.)



Shell and Coil Economizer System



Direct Expansion Economizer System

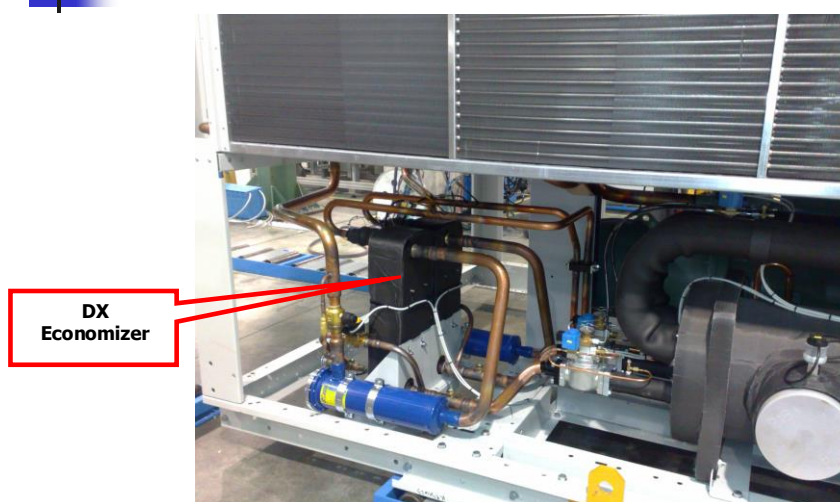


ציור מס' 4 - שיפור יעילות באמצעות מחליף חום בהתפשטות ישירה -

Direct Expansion (DX) Economizer

בשיטה זו מוסיפים למעגל הקירור מחליף חום - Direct Expansion (DX) Economizer, ביציאה מן המעבה. חלק מן פאזה הנוזלית של הקרר מוקז דרך נחיר התפשטות, מתאדה בתוך מחליף החום וכתוצאה מכך מקרר את הנוזל החם המוזרם דרכו, הנוזל שהוקז משנה מצבו לפאזה גזית המוחזרת לפתח היניקה במעלה הבורג של המדחס - Economizer port, וזאת בלחץ הביניים המיטבי - Intermediate Pressure. ניתן לראות את הגדלת תפוקת הקירור כמופיע באיור גרף מולייר אשר בציור מס' 4.

Direct Expansion Economizer



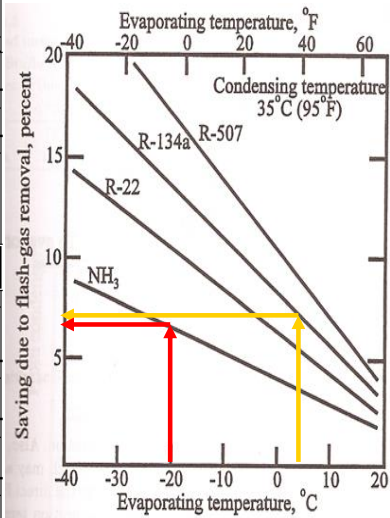
ציור מס' 5 - צ'ילר עם אקונומיזר מטיפוס - Direct Expansion (DX) Economizer

הערכת ביצועים

הערכת הביצועים מתבצעת באמצעות תוכנה של יצרני הציוד, המבוססת על חישובים תרמודינמיים מתוך גרף מולייר. (דוגמא לדף הרצת נתונים ניתן לראות בציור מס' 6) הרצת התוכנה במס' רב של נקודות עבודה מאפשרת שרטוט גרף ביצועים המציג את שיפור היעילות - ב- % כתוצאה מתוספת אקונומיזר לכל קרר וקרר וזאת כפונקציה של טמפ' האיוד וטמפ' העיבוי של הקרר בנק' העבודה. לדוגמא - ניתן לראות בעקומות המופיעות בציור מס' 6 כי תוספת אקונומיזר לצ'ילר עם קרר R134a הפועל בטמפ' איוד של 3 צ' וטמפ' עיבוי של 35 צ' תגרום לחסכון באנרגיה בשיעור של כ- 7%. (ככל שיגדל הטווח בין טמפ' האיוד לטמפ' העיבוי, כלומר כאשר ה- Lift יגדל, יגדל גם שיעור החיסכון בפעולה עם אקונומיזר)

Flash Economizer Savings

RWF II 316		R717 Single Stage	
Customer Name: test		Registered To: Mashav - Rami Kaplan	
End User Name: test		Date: 02.12.2008	
Project:		Run #1: 1.014 bar	
		Elevation: 0 m	
SYSTEM PERFORMANCE SUMMARY			
Evaporator Load	1916.0 kW	Coeff. Of Performance	4.057
Compressor Power	472.3 kW	Condenser Heat Rej.	2411.9 kW
		Performance Factor: 0.246 kW/kW	
COMPRESSOR - SGC 2813			
Shaft Power	472.3 kW	Eff Model:	R717 (Ammonia)
Drive Mode	Standard	Volumetric Eff	92.9%
Speed	2950 rpm	Adiabatic Eff	81.2%
Percent Evap Cap	100.0%	Discharge Port	Standard
Percent Suct Vol Flow	100.0%	Compression Ratio	4.73
Percent Load (Slide Valve)	100.0%	Volume Ratio	3.23
		Isentropic Volume Ratio	3.23
OIL SYSTEM			
Oil Cooling	Thermosiphon	Oil Pump	Demand
Oil Type	Frick #3	Oil Pump Status	Off
Oil Cooler Heat Rej	196.3 kW	Main Inj Valve Pos	20.7%
Oil Injection Temp	54.4 °C	Bearing Flow	81.2 lpm
		Oil Manifold	12.81 bara
EVAPORATOR			
Temperature	-10.0 °C	Pressure	2.91 bara
Suction Line Superheat	5.6 °C	Suction Line Pressure Drop	0.00 bar
Heat Load	1916.0 kW	Superheat	Liquid Feed
		Liquid Feed	6.6 °C
CONDENSER			
Temperature	35.0 °C	Pressure	13.50 bara
Disch Line Desuperheat	0.0 °C	Disc Line Pressure Drop	0.00 bar
Heat Rejection	2411.9 kW	Subcooling	External Subcooling
		External Subcooling	0.0 °C
ECONOMIZER			
Vessel Temperature	6.6 °C	Pressure	5.46 bara
Vessel Superheat	0.0 °C	Mass Flow	11.4 kg/min
Type	Flash Tank	Vapor Line Pressure Drop	0.00 bar
		Zero Flow State	4.90 bara



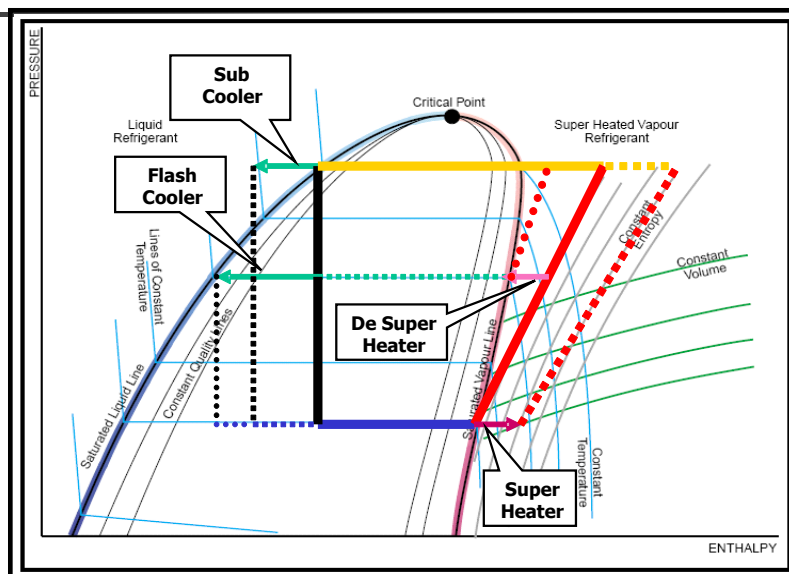
ציור מס' 6 - שיפור יעילות ב- % כתוצאה מתוספת אקונומיזר במעגל הקירור

לסיכום

ניתן לסכם ולשרטט את היתרונות של תוספת אקונומיזר במעגל הקירור באמצעות המחשת התהליכים על גבי גרף מולייר.

גרף מולייר ? - ניתן לשפר !

סיכום



ציור מס' 7 - שרטוט משולב של התהליכים על גבי גרף מולייר

תהליך עם תוספת מיכל הפרדה פאזית - Flash Tank Economizer

תהליך זה משפר את ביצועי מעגל הקירור ע"י שילוב של תהליך קירור ביניים - גם של הנוזל החם וגם של הגז החם.

(המתקרר אף הוא במהלך תהליך הדחיסה ע"י ערבוב עם הגז הקר המוחזר דרך ה- Economizer Port במעלה הבורג, כמסומן בציור מס' 7- שילוב של (Flash Cooler + De Super Heater)

תהליך עם תוספת מחליף חום בהתפשטות ישירה -

Direct Expansion (DX) Economizer

תהליך זה משפר את ביצועי מעגל הקירור ע"י שילוב של תהליך קירור ביניים- גם של הנוזל החם וגם של הגז החם.

(המתקרר אף הוא במהלך תהליך הדחיסה ע"י ערבוב עם הגז הקר המוחזר דרך ה- Economizer Port במעלה הבורג, כמסומן בציור מס' 7- שילוב של (Sub Cooler + De Super Heater)

השוואת ביצועים - השיפור ביעילות קטן במעט (אחוז עד שניים) בשימוש עם מחליף חום בהשוואה למיכל הפרדה פאזית, וזאת משום העובדה כי החלפת החום לעולם אינה אידיאלית. ואולם, השימוש במחליף חום, עדיף על מיכל הפרדה פאזית במקרים שבהם חשוב לשמור על לחץ גבוה בקו הנוזל (לדוגמא - במקרה של מהלך צנרת ארוך בין היציאה מהמעבה והכניסה לנחיר ההתפשטות) וזאת על מנת לאפשר תהליך התפשטות תקין בנחיר.