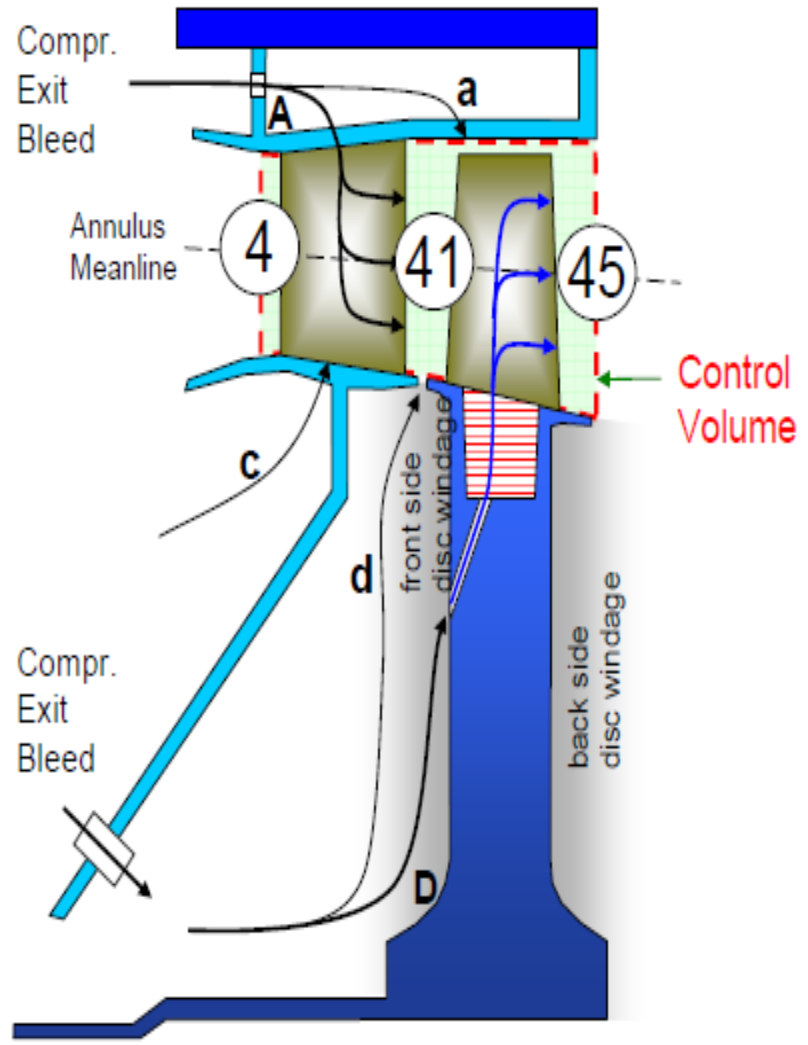
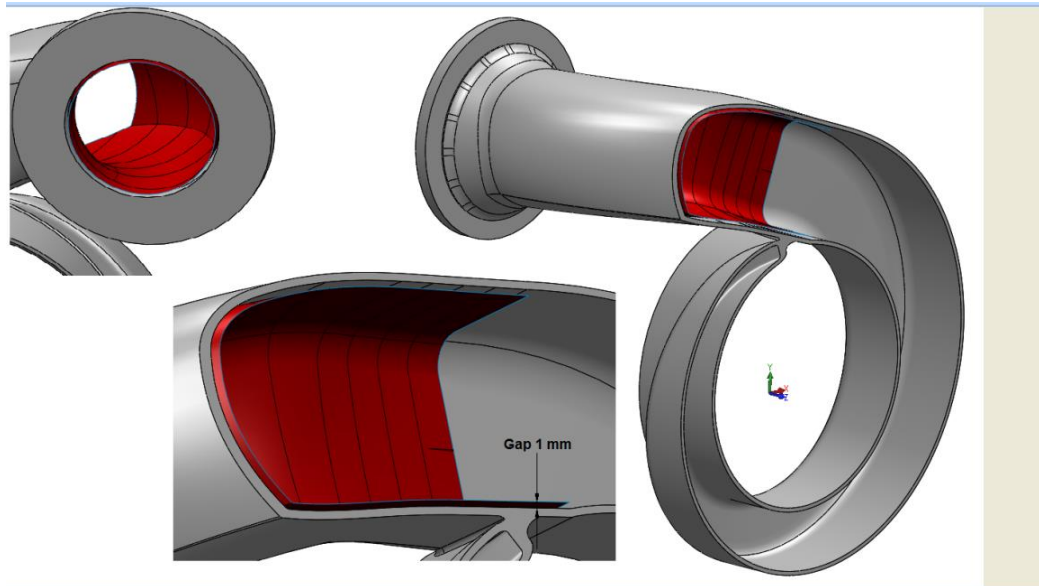


שיפור נצילות מחזור של טורבינות גז
בשילוב מערכת הקירור.

בתכן טורבינות גז נעשה שימוש באויר המדחס לקירור חלקים חמים של המנוע כגון להבי סטטור הטורבינה, דפנות פנימיות של תא השריפה דיסקות הטורבינה וכו' וזאת במטרה למנוע מאמצים תרמים ועוותים של חלקים חמים אלו. שיטה זו גורמת לאובדן אנרגיה הודות למפלי הלחץ והטפרטורה של זרימת האויר אשר מגיעה לספיקות עד 15% בטורבינות גז מודרניות.





ציור 2- קירור שרוול טורבינה

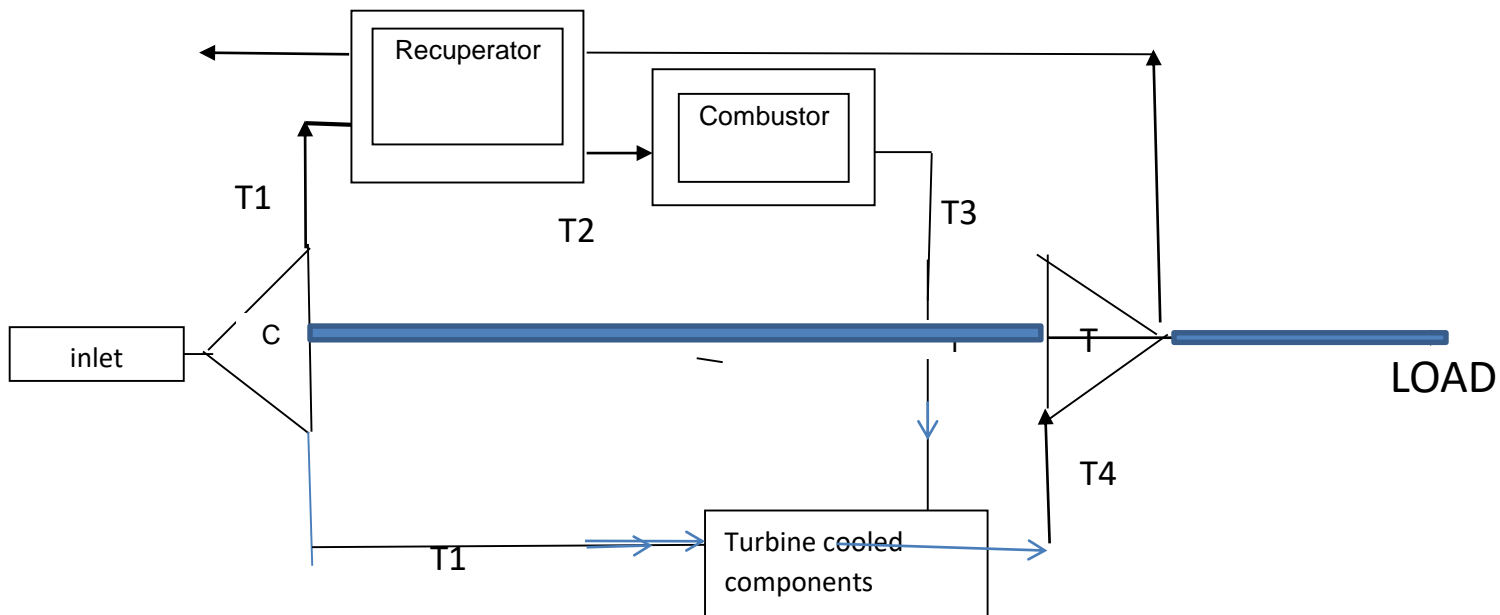
מוצג בזה תכן שונה לקירור הישים במיוחד לטורבינות גז עם רקופרטור
(מחליף חום פנימי)..

החלקים החמים מקוררים בעזרת אויר המדחס מבלי לפגוע בנצילות
המחזור.

העקרון הוא השימוש באויר שנלקח מהמדחס ועוקף את מחליף החום
ומקרר ישירות את החלקים החמים.

תוך כדי קירורו הוא מתחמם קרוב לטמפרטורות החלקים המקוררים
ומתערבב בזרימה הראשית. בדרכו אל הטורבינה

ציור 1—מחזור עם מחליף חום וקירור—Turbine components



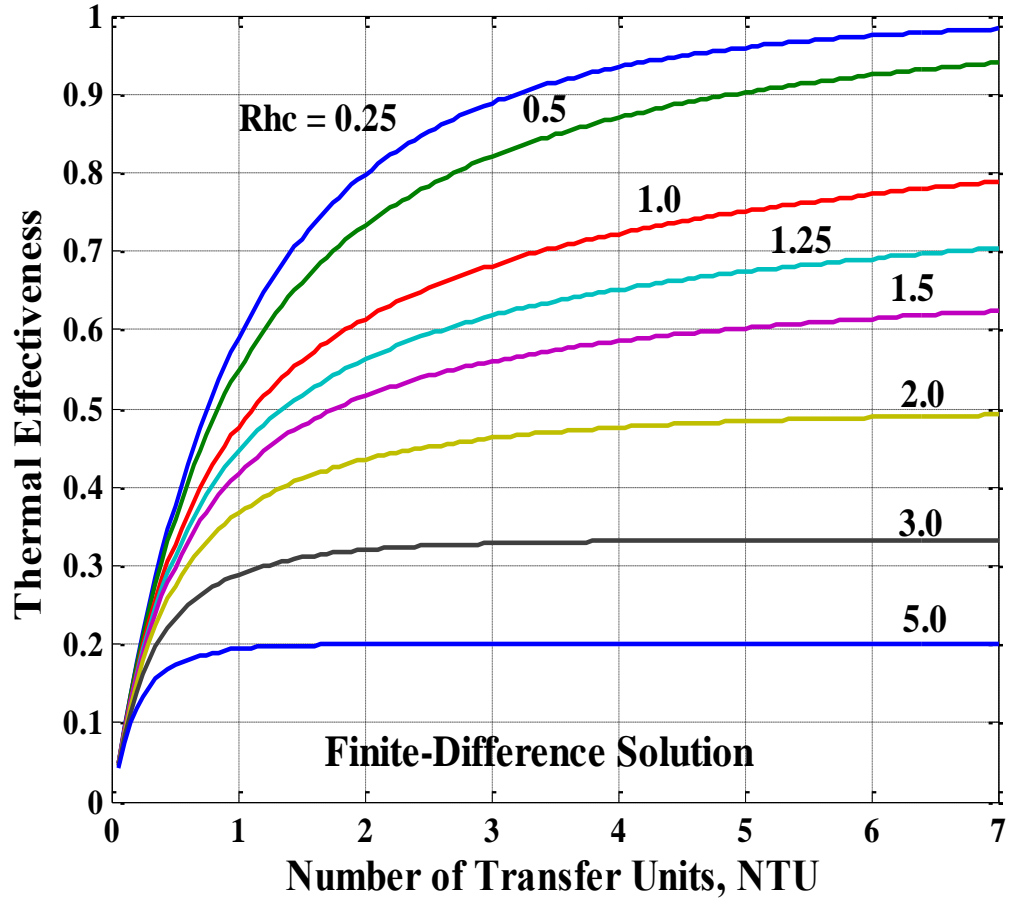
עקיפת מחליף החום יוצרת הגדלת היעילות האפקטיבית שלו

הודות להגדלת יחסי הספיקות של הזרימה החמה לקרה

הגדלת היעילות האפקטיבית משפרת את נצילות מחליף

החום ומפצה על ההפסדים הנגרמים עקב השימוש באויר
הקירור

Thermal Effectiveness of Cross-Flow Heat Exchanger



ציור 4 - יעילות מחליף חום

חישוב תרמו דינמי

1. החלפת חום ב-VOLUTE-----לחישוב T_3 כאשר T_5+T_4 קבועים.

$$m_0*(C_p T_4 - C_p T_1) = (1 - m_0)*(C_p T_3 - C_p T_4)$$

כאשר m_0 הוא היחס בין הספיקה המסית של אויר הקירור למסת היציאה מהמדחס.

2. חישוב האנרגיה Q הדרושה בתא השריפה לחימום מטמפרטורה T_2 עד T_3 .

$$Q = (1 - m_0)*(C_p T_3 - C_p T_2)$$

כאשר T_2 מחושב לפי יעילות מחליף החום- E_r

$$E_r = (T_2 - T_1) / (T_5 - T_1)$$

וערכו תלוי

במיספר NTU וב-יחס הספיקות m_0 -ראה ציור 1

Station	W kg/s	T K	P kPa	WRstd kg/s			
amb		288.00	101.350		PWSD	=	40.1 kW
1	0.307	288.00	101.350		PSFC	=	0.2260 kg/(kW*h)
2	0.307	288.00	99.323	0.314	Heat Rate=		11242.6 kJ/(kW*h)
3	0.298	420.73	293.003	0.125	Therm Eff=		0.3202
31	0.298	420.73	293.003		WF	=	0.00252 kg/s
35	0.298	947.54	288.608		P35/P3	=	0.98500
4	0.301	1277.00	277.063	0.233	P7/P6	=	0.98000
41	0.301	1277.00	277.063	0.233	s NOx	=	0.81730
49	0.301	1051.51	106.230		incidence=		0.00000 °
5	0.301	1051.51	106.230	0.550	XM8	=	-0.9580
6	0.301	1051.51	105.487		A8	=	5.756E-4 m ²
7	0.301	551.26	103.377				
8	0.301	551.26	103.377	0.410	P8/Ps8	=	0.50495
Bleed	0.009	288.00	99.323		WBld/w2	=	0.03000
-----					P2/P1	=	0.98000
Ps0-P2=	2.027	Ps8-Ps0=	103.377		Ps8	=	204.727 kPa
Efficiencies:	isentrr	polytr	RNI	P/P	W_NGV/W2	=	0.00000
Compressor	0.7800	0.8103	0.981	2.950	WCL/W2	=	0.00000
Burner	0.9900			0.960	Loading	=	100.00 %
Turbine	0.8550	0.8398	0.479	2.608	e45 th	=	0.85500
Heat Exch.	0.8300						
Generator	0.0000				PW_gen	=	0.0 kW

Spool mech Eff	0.9850	Nom Spd		0 rpm	P6/P5	=	0.9930

hum [%]	war0	FHV	Fuel				
60.0	0.00644	49.736	Natural Gas				

טבלה א

מחזור טורבינת גז 40 קו"ט---ללא קירור
יעילות מחליף חום 83%, נצילות תרמית 32%

Station	W kg/s	T K	P kPa	WRstd kg/s			
amb		288.00	101.350		PWSD	=	40.0 kW
1	0.307	288.00	101.350		PSFC	=	0.2059 kg/(kW*h)
2	0.307	288.00	99.323	0.314	Heat Rate	=	10242.0 kJ/(kW*h)
3	0.298	420.73	293.003	0.125	Therm Eff	=	0.3515
31	0.298	420.73	293.003		WF	=	0.00229 kg/s
35	0.267	978.99	288.608		P35/P3	=	0.98500
4	0.270	1310.00	277.063	0.211	P7/P6	=	0.98000
41	0.300	1277.43	277.063	0.232	s NOx	=	0.96085
49	0.300	1051.59	106.230		incidence	=	0.00000 °
5	0.300	1051.59	106.230	0.550	XM8	=	-0.9556
6	0.300	1051.59	105.487		A8	=	5.573E-4 m ²
7	0.300	516.59	103.377				
8	0.300	516.59	103.377	0.396	P8/Ps8	=	0.50495
Bleed	0.009	288.00	99.323		WBld/W2	=	0.03000
-----					P2/P1	=	0.98000
Ps0-P2= 2.027		Ps8-Ps0= 103.377			Ps8	=	204.727 kPa
Efficiencies:		isent	polytr	RNI	P/P	W_NGV/W2	= 0.10000
Compressor		0.7800	0.8103	0.981	2.950	WCL/W2	= 0.00000
Burner		0.9900			0.960	Loading	= 100.00 %
Turbine		0.8550	0.8397	0.479	2.608	e45 th	= 0.85232
Heat Exch.		0.8800					
Generator		0.0000				PW_gen	= 0.0 kW
-----					P6/P5	=	0.9930
Spool mech Eff	0.9850	Nom Spd		0 rpm			

hum [%]	war0	FHV	Fuel				
60.0	0.00644	49.736	Natural Gas				

טבלה ב-מחזור טורבינת גז 40 קו"ט-עם 10% קירור עוקף של מחליף החום יעילות מחליף החום עולה ל-88%

Station	W kg/s	T K	P kPa	WRstd kg/s			
					PWSD	=	39.7 kW
amb		288.15	101.325				
1	0.312	288.15	101.325		PSFC	=	0.1988 kg/(kW*h)
2	0.312	288.15	100.818	0.314	Heat Rate	=	9885.6 kJ/(kW*h)
3	0.312	420.95	297.414	0.129	Therm Eff	=	0.3642
31	0.302	420.95	297.414		WF	=	0.00219 kg/s
35	0.240	997.90	292.953		P35/P3	=	0.98500
4	0.242	1348.00	278.305	0.192	P7/P6	=	0.98000
41	0.305	1279.00	278.305	0.235	s NOx	=	1.06548
49	0.305	1051.74	106.204		incidence	=	0.00000 °
5	0.305	1051.74	106.204	0.558	XM8	=	0.1696
6	0.305	1051.74	105.461		A8	=	0.0057 m ²
7	0.305	495.98	103.351				
8	0.305	495.98	103.351	0.394	P8/Ps8	=	1.02000
Bleed	0.009	420.95	297.414		WBld/W2	=	0.03000
-----					P2/P1	=	0.99500
Efficiencies:	isentr	polytr	RNI	P/P	W_NGV/W2	=	0.20000
Compressor	0.7800	0.8103	0.995	2.950	WCL/W2	=	0.00000
Burner	0.9900			0.950	Loading	=	100.00 %
Turbine	0.8550	0.8396	0.480	2.620	e45 th	=	0.84832
Heat Exch.	0.9100						
Generator	1.0000				PW_gen	=	39.7 kW
-----					P6/P5	=	0.9930
Spool mech Eff	0.9850	Nom Spd	80000 rpm				

hum [%]	war0	FHV	Fuel				
60.0	0.00637	49.736	Natural Gas				

טבלה ג-מחזור טורבינת גז 40 קווט עם %
20 קירור עוקף של מחליף החום

Station	W kg/s	T K	P kPa	WRstd kg/s			
amb		288.15	101.325		PWSD	=	39.6 kW
1	0.312	288.15	101.325		PSFC	=	0.1992 kg/(kW*h)
2	0.312	288.15	100.818	0.314	Heat Rate	=	9907.2 kJ/(kW*h)
3	0.312	420.95	297.414	0.129	Therm Eff	=	0.3634
31	0.302	420.95	297.414		WF	=	0.00219 kg/s
35	0.209	996.33	292.953		P35/P3	=	0.98500
4	0.211	1395.00	278.305	0.170	P7/P6	=	0.98000
41	0.305	1277.02	278.305	0.235	s NOx	=	1.05692
49	0.305	1050.06	106.204		incidence	=	0.00000 °
5	0.305	1050.06	106.204	0.557	XM8	=	0.1696
6	0.305	1050.06	105.461		A8	=	0.0057 m²
7	0.305	495.76	103.351				
8	0.305	495.76	103.351	0.394	P8/Ps8	=	1.02000
Bleed	0.009	420.95	297.414		WBld/W2	=	0.03000

Efficiencies:	isent	polytr	RNI	P/P			
Compressor	0.7800	0.8103	0.995	2.950	W_NGV/W2	=	0.30000
Burner	0.9900			0.950	WCL/W2	=	0.00000
Turbine	0.8550	0.8396	0.481	2.620	Loading	=	100.00 %
Heat Exch.	0.9100				e45 th	=	0.84531
Generator	1.0000						

Spool mech Eff	0.9850	Nom Spd	80000	rpm	P6/P5	=	0.9930

hum [%]	war0	FHV	Fuel				
60.0	0.00637	49.736	Natural Gas				

טבלה ד-מחזור טורבינת גז 40 קווט עם 30%
קירור עוקף של מחליף החום

תוצאות החישוב

. התוצאות מוצגות עבור טורבינת גז בת הספק קבוע של 40 קוואט
וטמפרטורת כניסה T4 לרוטור הטורבינה K1277.

נצילות מחזור	יעילות מחליף חום	Q* - KW	T3- K	יחס ספיקה
32.2%	83%	330	1277	0
35.5%	88%	303	1310	0.1
36.5%	91%	280	1348	0.2
36.5%	91%	280	1360	0.3

סיכום וניתוח התוצאות

הגדלת המסה של אויר הנקוז לשם קירור חלקים חמים מגדילה את יעילות מחליף החום ונצילות המחזור התרמי. כאשר שיעור הנקוז הוא 20% השיפור ביעילות מחליף החום הוא 11% (עולה מ-83% ל-91%) וכתוצאה מכך נצילות המחזור עולה ב- 13.3%. מעבר ל-20% ניקוז יעילות מחליף החום עולה בצורה אסימפטוטית ולכן אין תועלת בשיעור ניקוז נוסף.

המחיר לשמירת הספק קבוע הוא הגדלת טמפרטורת היציאה מתא השריפה-K1348 בשיעור ניקוז אופטימלי של 0.2. זה נעשה על ידי שיעור ה-DILUTION של גזי הפליטה ואין כאן מיגבלה טכנולוגית או מטלורגית התלויה במאמצים בלהבי טורבינות ומגבילים את אורך החיים של המנוע.

יתרון נוסף של שימוש אויר הניקוז לקירור מעטפות חיצוניות של טורבינות הגז הוא הקטנת הפסדי קרינה או מערכת אוורור חיצונית הדורשת אנרגיה נוספת