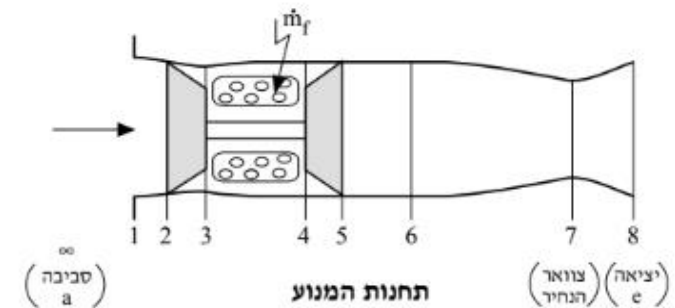


פרק שני: מנועי מטוסים (40 נקודות)

ענה על שתיים מבין השאלות 4-6 (לכל שאלה – 20 נקודות).

שאלה 4

באיור לשאלה 4 מתואר מנוע טורבו סילון (ללא מבער אחורי) ומסומנות בו תחנות המנוע.

**איור לשאלה 4**המטוס שבו פועל המנוע טס בגובה שבו לחץ האוויר הוא $P_a = 0.7 \text{ bar}$ וספיקת האוויר העובר

$$\dot{m}_a = 100 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$$

התפשטות הגזים בנחיר הפליטה היא התפשטות איזנטרופית (נחיר אידאלי) עד ללחץ הסביבה. הפסד לחץ העצירה בצינור הפליטה – זניח.

$$U_e = 800 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{מהירות הגזים ביציאה מנחיר הפליטה:}$$

$$\eta_T = 0.93 \quad \text{נצילות הטורבינה:}$$

$$T_{05} = 810 \text{ K} \quad \text{הטמפרטורה ביציאה מן הטורבינה:}$$

$$P_C = 40 \text{ MW} \quad \text{ההספק הדרוש להנעת המדחס:}$$

$$f = 0.025 \quad \text{היחס ספיקת הדלק / ספיקת הדלק בתא השריפה:}$$

נתונים נוספים:היחס בין קיבולי החום הסגוליים של האוויר והגז הוא קבוע: $\gamma = 1.4$ קיבול החום הסגולי בלחץ קבוע של האוויר והגז הוא קבוע: $C_p = 1004 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ חום הבעירה של הדלק: $q_R = 29.3 \times 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}_{\text{fuel}}}$ נצילות הבעירה: $\eta_B = 100\%$

הנח כי הגז הוא אוויר וכי הוא מתנהג כגז משוכלל.

א. הסבר בקצרה מדוע נצילות הטורבינה קטנה מ-100%.

ב. סרטט במחברתך דיאגרמה איכותית של טמפרטורה-אנטרופיה (T-S) עבור התהליכים המתרחשים בגז בין תחנה 3 לתחנה 7 במנוע. ציין בדיאגרמה באיזו תחנה מתרחש כל תהליך.

ג. חשב את טמפרטורת העצירה בתחנה 4 (T_{04}).ד. חשב את הטמפרטורה הסטטית בתחנה 8 (T_{08}).ה. חשב את טמפרטורת העצירה בתחנה 3 (T_{03}).ו. חשב את לחץ העצירה בתחנה 5 (P_{05}).ז. חשב את לחץ העצירה בתחנה 4 (P_{04}).

שאלה 5

מנוע טורבו-סילון חד-צירי פועל בגובה 11 km ובתנאי אטמוספירה סטנדרטית. להלן הנתונים של פעולת המנוע:

- מספר המאך של הטיסה: 0.9
- היחס בין לחצי העצירה במדחס: $\frac{P_{03}}{P_{02}} = 13$
- טמפרטורת העצירה בכניסה לטורבינה: $T_{04} = 1100 \text{ K}$

נתונים נוספים:

- היחס בין קיבולי החום הסטליים של האוויר והגז הוא קבוע: $\gamma = 1.4$
- קיבול החום הסטלי בלחץ קבוע של האוויר והגז הוא קבוע: $C_p = 1005 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
- רכיבי המנוע אידאליים, כלומר נצילותם היא 100% והפסדי לחץ העצירה בהם זניחים.

א. העתק למחברתך את הטבלה הבאה והשלם בה את שתי העמודות הריקות: לחץ העצירה וטמפרטורת העצירה בתחנות המנוע השונות. פרט במחברתך את החישובים המתאימים.

התחנה במנוע	לחץ העצירה $P[\text{Pa}]$	טמפרטורת העצירה $T [\text{K}]$
ambient		
2		
3		
4		
5		

ב. הנח שבנחיר קיימות התפשטות מלאה וחשב את הדחף הסטלי, $\frac{F_N}{m_a}$, של המנוע.

שאלה 5

— מנוע טורבו-סילון של מטוס נוסעים על-קולי טס בגובה 8 km באטמוספירה סטנדרטית.

— מהירות הטיסה: $U_a = 450 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

— ספיקת האוויר: $\dot{m}_a = 50 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$

— חום השׂרפה של הדלק: $q_R = 42 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}_{\text{fuel}}}$

— היחס $\frac{\text{ספיקת הדלק}}{\text{ספיקת האוויר}}$: $f = 0.021$

— הנצילות התרמית של המנוע: $\eta_{th} = 0.65$

— קיבול החום הסגולי בלחץ קבוע בתא השׂרפה: $c_{p,b} = 1,100 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

— טמפרטורת העצירה של הגזים בכניסה לתא השׂרפה: $T_{03} = 770 \text{ K}$

— טמפרטורת העצירה של הגזים ביציאה מתא השׂרפה: $T_{04} = 1,500 \text{ K}$

א. חשב את מהירות פליטת הגזים ביציאה מן הנחיר, U_e .

ב. בהנחה שנחיר המנוע מתואם, חשב את דחף המנוע נטו, F .

ג. חשב את תצרוכת הדלק הסגולית, TSFC.

ד. חשב את מספר מאך של הטיסה, M_a .

ה. חשב את נצילות הבעירה של הדלק, η_b .

ו. חשב את נצילות ההנעה של המנוע, η_p .

ז. חשב את הנצילות הכללית של המנוע, η_o .

שאלה 5

במנוע טורבינה מורכב מחדס צירי בעל 12 דרגות. המנוע פועל באופן רצוף, במצב סטטי, בנובה פני-הים באטמוספירה סטנדרטית.

נתוני המחדס:

– יחס לחצי העצירה במחדס:

$$\frac{P_{03}}{P_{02}} = 8$$

– הנצילות הפוליטרופית של המחדס:

$$\eta_{c\omega} = 0.93$$

– ספיקת האוויר העובר דרך המחדס:

$$\dot{m}_a = 40 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$$

– טמפרטורת העצירה בכניסה למחדס

$$T_{02} = 443 \text{ K}$$

– היחס בין קיבולי החום הסגוליים של האוויר:

$$\gamma = 1.4$$

– קיבול החום הסגולי של האוויר בלחץ קבוע:

$$C_p = 1005 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

א. רשום סיבה אפשרית אחת לכך שטמפרטורת העצירה בכניסה למחדס שונה מטמפרטורת הסביבה.

ב. חשב את ההספק הכולל הדרוש להנעת המחדס.

ג. חשב את הנצילות האדיאבטית של המחדס.

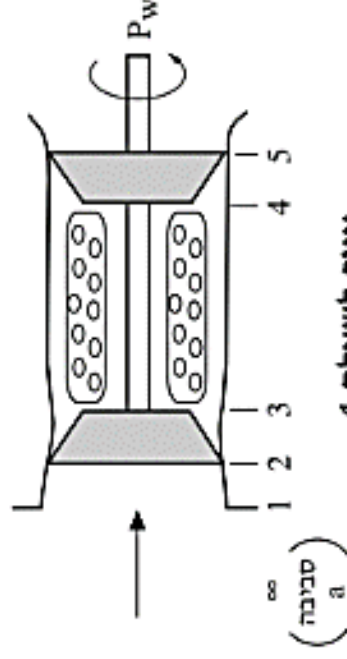
ד. חשב את יחס לחצי העצירה בדרגה הראשונה ובדרגה האחרונה של המחדס. לצורך החישוב הנח כי הנצילות האדיאבטית של כל דרגה במחדס שווה לנצילות הפוליטרופית של המחדס.

פרק שני: מנועי מטוסים (40 נקודות)

ענה על שתיים מבין השאלות 4-6 (לכל שאלה – 20 נקודות).

שאלה 4

באזור לשאלה זו מוצג תרשים של מנוע-הספק (turbo-shaft) הפועל בגובה פני-הים במצב סטטי.



איור לשאלה 4

$$T_{amb} = T_{02} = 300 \text{ K}$$

$$T_{03} = 600 \text{ K}$$

$$T_{04} = 1200 \text{ K}$$

$$\dot{m}_a = 2 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\gamma = 1.4$$

$$c_p = 1005 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$q_R = 40 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}_{fuel}}$$

$$\eta_b = \eta_T = \eta_C = 1$$

- טמפרטורת הסביבה:
- טמפרטורת העצירה ביציאה מן המדחס:
- טמפרטורת העצירה בכניסה לטורבינה:
- ספיקת האוויר העובר דרך המנוע:
- היחס בין קיבולי החום הסגולי של האוויר והגז הוא קבוע:
- קיבול החום הסגולי של האוויר והגז בלחץ קבוע הוא קבוע:
- חום הבעירה של הדלק:
- הנצילות של תא השריפה, של הטורבינה ושל המדחס:

הנחות:

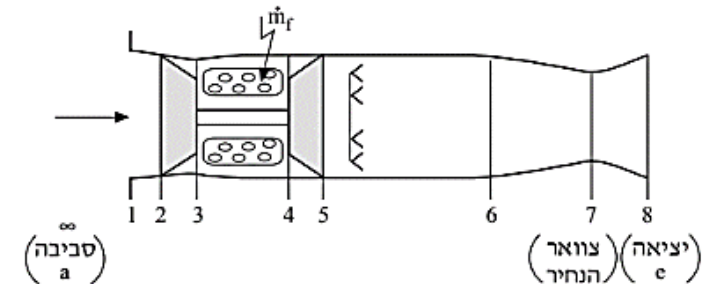
- תכונות הגזים בכל תחנות המנוע הן קבועות.
- אין הפסדי לחץ במנוע.
- ספיקת הדלק ביחס לספיקת האוויר זניחה.
- הגזים מתפשטים בטורבינה עד ללחץ הסביבה, כלומר $p_5 = p_{amb}$.
- א. חשב את יחס הדחיסה במדחס $\frac{p_{03}}{p_{02}}$.
- ב. חשב את טמפרטורת העצירה ביציאה מן הטורבינה, T_{05} .
- ג. חשב את הספק הציר, P_w .
- ד. חשב את ספיקת הדלק, $\dot{m}_f$.

פרק שני: מנועי מטוסים (40 נקודות)

ענה על שתיים מבין השאלות 4-6 (לכל שאלה – 20 נקודות).

שאלה 4

באיור לשאלה זו מתואר מנוע טורבו-סילון חד-צירי ומסומנות בו תחנות המנוע. המנוע פועל ללא מבער אחורי.



איור לשאלה 4

נתוני המנוע:

$T_8 = 740 \text{ K}$	הטמפרטורה הסטטית ביציאה מן הנחיר:
$P_8 = 0.8 \text{ bar}$	הלחץ הסטטי ביציאה מן הנחיר:
$M_8 = 1.6$	מספר המאך ביציאה מן הנחיר:
$\dot{m}_a = 60 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$	הספיקה המסית של האוויר העובר דרך המנוע:
$P_C = 20 \text{ MW}$	ההספק המסופק על-ידי המדחס:
$f = 0.025$	היחס $\frac{\text{ספיקת הדלק}}{\text{ספיקת האוויר}}$ בתא השריפה:
$P_{04} = 9 \text{ bar}$	לחץ העצירה בכניסה לטורבינה:

— הנח כי נחיר המנוע הוא נחיר אידיאלי (מתקיים בו תהליך של התפשטות איזנטרופית).

נתונים נוספים:

קיבול החום הסגולי, בלחץ קבוע של האוויר ושל הגז, הוא קבוע: $C_p = 1005 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

היחס בין קיבולי החום הסגוליים של האוויר והיחס בין קיבולי החום הסגוליים של הגז הם קבועים: $\gamma = 1.4$

א. סרטט במחברתך דיאגרמה איכותית של טמפרטורה-אנטרופיה (T-S) בעבור התהליכים המתרחשים בגז בין תחנה 4 לתחנה 8 במנוע. סמן את האיזוברות השונות בדיאגרמה שסרטטת.

- חשב את מהירות הקול ביציאה מן הנחיר (a_8).
- חשב את מהירות האוויר ביציאה מן הנחיר (U_8).
- חשב את טמפרטורת העצירה ביציאה מן הטורבינה (T_{05}).
- חשב את לחץ העצירה ביציאה מן הטורבינה (P_{05}).
- חשב את טמפרטורת העצירה ביציאה מתא השריפה (T_{04}).
- חשב את נצילות הטורבינה (η_T).

פרק שני: מנועי מטוסים (40 נקודות)

ענה על שתיים מבין השאלות 4-6 (לכל שאלה – 20 נקודות).

שאלה 4

– מנוע טורבריסלון טס בטיסה על-קולית.

– מהירות הטיסה:

$$U_a = 500 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

– ספיקת האוויר:

$$\dot{m}_a = 60 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$$

– חום השריפה של הדלק:

$$q_R = 41 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}_{\text{fuel}}}$$

– היחס $\frac{\text{ספיקת הדלק}}{\text{ספיקת האוויר}}$:

$$f = 0.022$$

– הנצילות התרמית של המנוע:

$$\eta_{th} = 0.67$$

– קיבול החום הסגולי בלחץ קבוע בתא השריפה:

$$c_{p,b} = 1,150 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

– טמפרטורת העצירה של הגזים בכניסה לתא השריפה:

$$T_{03} = 650 \text{ K}$$

– טמפרטורת העצירה של הגזים ביציאה מתא השריפה:

$$T_{04} = 1,270 \text{ K}$$

– נחיר המנוע מתואם.

א. חשב את מהירות פליטת הגזים ביציאה מן הנחיר, U_e .

ב. חשב את דחף המנוע נטו, F .

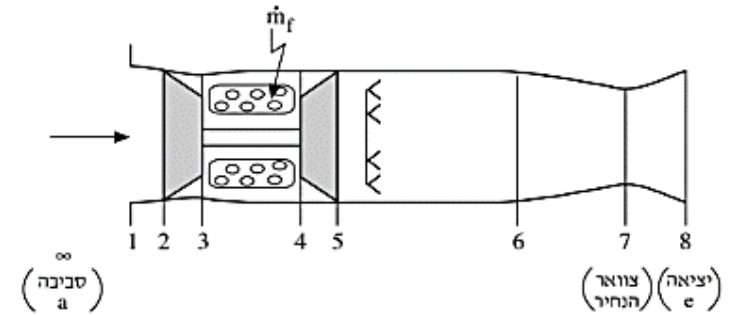
ג. חשב את תצרוכת הדלק הסגלית, TSFC.

ד. חשב את נצילות הבעירה של הדלק, η_b .

ה. חשב את נצילות ההנעה של המנוע, η_p .

שאלה 5

באיור לשאלה זו מוצג מנוע טורבו-סילון ומסומנות בו תחנות המנוע.



איור לשאלה 5

נתוני הסביבה והמנוע:

- הלחץ הסטטי ביציאה מן הנחיר: $p_g = 0.8 \text{ bar}$
- לחץ העצירה ביציאה מן הטורבינה: $p_{05} = 3 \text{ bar}$
- ספיקת האוויר העובר דרך המנוע: $\dot{m}_a = 60 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$
- טמפרטורת העצירה ביציאה מתא השריפה: $T_{04} = 1400 \text{ K}$
- נצילות הטורבינה: $\eta_T = 0.92$
- הספק הטורבינה: $P_T = 20 \text{ MW}$
- נצילות הבעירה בתא השריפה: $\eta_B = 0.86$
- היחס f בתא השריפה: $f = \frac{\text{ספיקת הדלק}}{\text{ספיקת האוויר}} = 0.02$
- חום שריפת הדלק: $q_R = 42 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}_{\text{fuel}}}$

נתונים נוספים:

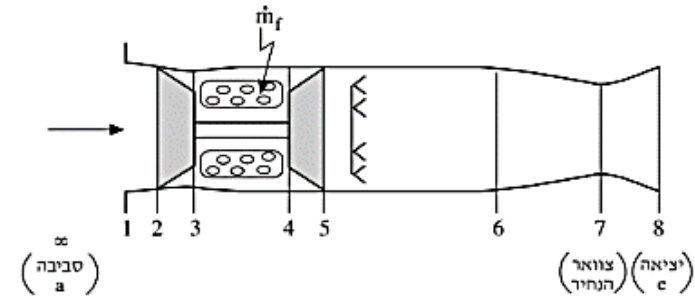
- הגז הוא אוויר והוא מתנהג כגז משוכלל.
- קיבול החום הסגולי בלחץ הוא קבוע:
- היחס בין קיבולי החום של האוויר:
- הפסדי האנרגיה בנחיר זניחים.
- א. סרטט באופן סכמתי דיאגרמת טמפרטורה-אנטרופיה (T-S) של התהליכים המתרחשים בגז בין תחנה 3 לתחנה 8 במנוע. סמן בדיאגרמה את האיזוברות השונות.
- ב. חשב את טמפרטורת העצירה ביציאה מן הטורבינה, T_{05} .
- ג. חשב את לחץ העצירה ביציאה מתא השריפה, p_{04} .
- ד. חשב את טמפרטורת העצירה ביציאה מן המדחס, T_{03} .
- ה. חשב את הטמפרטורה הסטטית ביציאה מן הנחיר, T_g .
- ו. חשב את מהירות גזי הפליטה, U_e , בחתך היציאה, ואת מספר מאך של הטיסה, M_e , בחתך היציאה.

$$c_p = 1,005 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\gamma = 1.4$$

שאלה 5

באיור לשאלה זו מוצג מנוע טורבו-סילון ומסומנות בו תחנות המנוע.



איור לשאלה 5

נתוני הסביבה והמנוע:

- הטמפרטורה הסטטית ביציאה מהנחיר: $T_g = 720 \text{ K}$
- הלחץ הסטטי ביציאה מהנחיר: $p_g = 0.8 \text{ bar}$
- מספר מאך ביציאה מהנחיר: $M_g = 1.7$
- ספיקת האוויר העובר דרך המנוע: $\dot{m}_a = 56 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$
- ההספק המסופק עלידי המדחס: $P_C = 18 \text{ MW}$
- היחס f בתא השריפה: $f = \frac{\text{ספיקת הדלק}}{\text{ספיקת האוויר}} = 0.022$
- לחץ העצירה בכניסה לטורבינה: $p_{04} = 10 \text{ bar}$

הנחות:

- הגז הוא אוויר והוא מתנהג כגז משוכלל.
- נחיר המנוע הוא אידיאלי (מתקיים בו תהליך של התפשטות איזנטרופית).

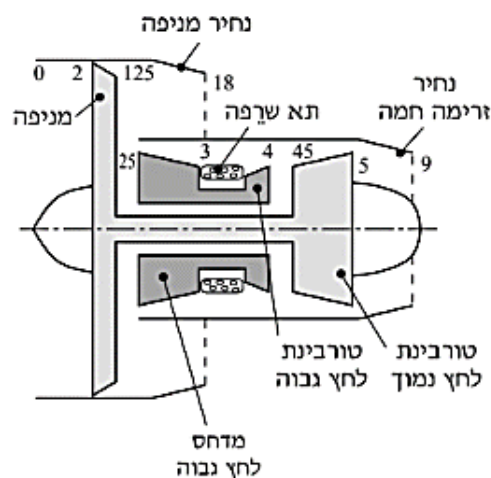
נתונים נוספים:

- קיבול החום הסגולי בלחץ קבוע הוא קבוע: $c_p = 1005 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
- היחס בין קיבולי החום של האוויר: $\gamma = 1.4$

- א. סרטט באופן סכמתי דיאגרמת טמפרטורה-אנטרופיה (T-S) של התהליכים המתרחשים בגז בין תחנה 3 לתחנה 8 במנוע. סמן בדיאגרמה את האיזוברות השונות.
- ב. חשב את מהירות הקול ביציאה מהנחיר (a_g).
- ג. חשב את מהירות האוויר ביציאה מהנחיר (U_g).
- ד. חשב את טמפרטורת העצירה ביציאה מהטורבינה (T_{05}).
- ה. חשב את טמפרטורת העצירה ביציאה מתא השריפה (T_{04}).
- ו. חשב את לחץ העצירה ביציאה מהטורבינה (P_{05}).
- ז. חשב את טמפרטורת העצירה האיזנטרופית ביציאה מהטורבינה (T_{05s}).
- ח. חשב את נצילות הטורבינה (η_T).

שאלה 6

מנוע טורבו-מניפה דו-צירי, בעל זרימות נפרדות, פועל בגובה של 11 km בתנאי אטמוספירה סטנדרטית. באיור לשאלה הזאת נתון תרשים סכמתי של המנוע.



איור לשאלה 6

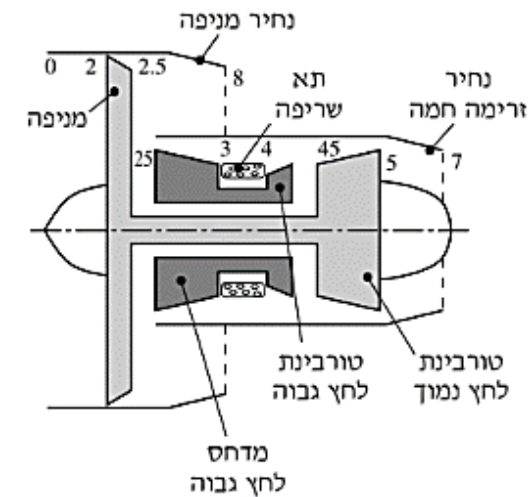
נתונים

- מספר המאך של הטיסה: $M_a = 0.8$
- יחס הלחצים של המניפה: $\frac{P_{125}}{P_{12}} = 1.7$
- יחס העקיפה: $B.P.R. = 5.4$
- יחס הלחצים הכולל: $\frac{P_{13}}{P_{12}} = 35$
- טמפרטורת הגז בכניסה לטורבינה: $T_{14} = 1400 \text{ K}$

- היחס בין קיבולי החום הסגוליים של האוויר ושל הגז הוא קבוע: $\gamma_a = 1.4$
- קיבול החום הסגולי של האוויר בלחץ קבוע, הוא קבוע: $C_{p_a} = 1005 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
- היחס בין קיבולי החום הסגוליים של הגזים החמים הוא קבוע: $\gamma = 1.333$
- קיבול החום הסגולי, בלחץ קבוע של הגזים החמים, הוא קבוע: $C_{p_g} = 1149 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
- רכיבי המנוע אידאליים, כלומר, נצילותם היא 100%, והפסדי לחצי העצירה בהם זניחים.
- ספיקת הדלק זניחה ביחס לספיקת האוויר.
- א. חשב את היחס (באחוזים) בין ספיקת האוויר העוברת דרך מדחס הלחץ הגבוה ובין הספיקה הכוללת העוברת דרך המנוע.
- ב. חשב את טמפרטורת העצירה בכל אחת מתחנות המנוע האלה:
 1. בכניסה למדחס הלחץ הגבוה.
 2. ביציאה ממדחס הלחץ הגבוה.
 3. ביציאה מטורבינת הלחץ הגבוה (בכניסה לטורבינת הלחץ הנמוך).
 4. ביציאה מטורבינת הלחץ הנמוך.

שאלה 6

באיור לשאלה זו מתואר מנוע טורבו-מניפה דו-צירי המותקן במטוס שטס בגובה פנייהם, בתנאי אטמוספירה סטנדרטית.



איור לשאלה 6

נתונים:

- מהירות הטיסה: $U_a = 300 \frac{m}{s}$
- יחס הלחצים במניפה: $\frac{P_{025}}{P_{02}} = 1.9$
- יחס העקיפה: $BPR = \frac{\dot{m}_{COLD}}{\dot{m}_{HOT}} = 6$
- יחס הדחיסה הכולל: $\frac{P_{03}}{P_{02}} = 25$
- הטמפרטורה בכניסה לטורבינה: $T_{04} = 1600 \text{ K}$

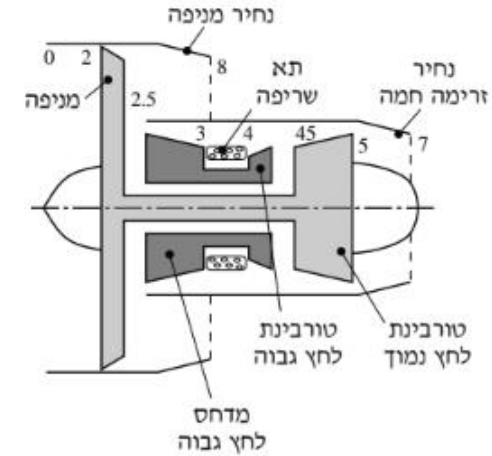
- 9 -

הנחות:

- הגז הוא אוויר והוא מתנהג כגז משוכלל.
- ספיקת הדלק זניחה ביחס לספיקת האוויר.
- רכיבי המנוע הם אידאליים (נצילותם 100%), והפסדי לחצי העצירה זניחים.
- היחס בין קיבולי החום של האוויר: $\gamma = 1.4$
- א. חשב את טמפרטורת העצירה בכניסה למניפה (T_{02}).
- ב. חשב את טמפרטורות העצירה בכניסה למדחס הלחץ הגבוה (T_{025}) וביציאה ממנו (T_{03}).
- ג. חשב את טמפרטורת העצירה בכניסה לטורבינת הלחץ הנמוך (T_{045}).
- ד. חשב את טמפרטורת העצירה ביציאה מטורבינת הלחץ הנמוך (T_{05}).

שאלה 6

באיור לשאלה זו מוצג מנוע טורבו-מניפה דו-צירי.



איור לשאלה 6

המנוע נבדק במצב סטטי, בגובה פנייהים בתנאי אטמוספירה סטנדרטית.

נתונים:

- ספיקת האוויר העובר דרך המנוע: $\dot{m}_a = 180 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$
- יחס העקיפה: $\text{BPR} = \frac{\dot{m}_{\text{COLD}}}{\dot{m}_{\text{HOT}}} = 8$
- ספיקת הדלק: $\dot{m}_f = 0.7 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$
- כוח הדחף הנובע מהזרימה החמה: $F_H = 18,000 \text{ N}$
- טמפרטורת העצירה של הזרימה הקרה ביציאה מן הנחיר: $T_{08} = 335 \text{ K}$
- מספר מאך של הזרימה הקרה ביציאה מנחיר הפליטה: $M_8 = 0.9$
- קבוע הגז של האוויר: $R = 287 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
- קיבול החום הסגולי של האוויר הקר: $C_{pC} = 1005 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

- היחס בין קיבולי החום הסגולי של האוויר הוא קבוע: $\gamma = 1.4$
- נצילות נחיר הפליטה של הזרימה הקרה: $\eta_{NC} = 1$

- א. חשב את ספיקת הזרימה הקרה (הזרימה העוקפת), $\dot{m}_{ac}$.
- ב. חשב את הטמפרטורה הסטטית של הזרימה הקרה ביציאה מן הנחיר, T_8 .
- ג. חשב את מהירות הזרימה הקרה ביציאה מן הנחיר, U_8 .
- ד. חשב את הדחף הכולל של המנוע, F_N .
- ה. חשב, ביחידות $\left[\frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot \text{N}} \right]$, את צריכת הדלק הסגולית, SFC.

שאלה 6

מנוע טורבו מניפה דו-צירי פועל במצב סטטי, בובה פני הים. למנוע שני נחירים מתכנסים נפרדים, המיועדים לזרימה החמה ולזרימה הקרה.

נתוני הפעולה של המנוע:

– טמפרטורות העצירה בזרימה הקרה, ביציאה מן הנחיר: $T_{018} = 343 \text{ K}$

– הטמפרטורה הסטטית של הזרימה הקרה ביציאה מן הנחיר: $T_{S18} = 293 \text{ K}$

– הדחף הנובע מן הזרימה החמה: $F_H = 19,800 \text{ N}$

– ספיקת האוויר הכוללת דרך המנוע: $\dot{m}_a = 210 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$

– יחס העקיפה: $B.P.R. = 4.5$

– ספיקת הדלק: $\dot{m}_f = 0.78 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$

נתונים נוספים:

– היחס בין קיבולי החום הסגוליים של האוויר: $\gamma_c = 1.4$

– קיבול החום הסגולי של האוויר הקר: $C_{p_c} = 1005 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

– נצילות נחיר הפליטה של הזרימה הקרה: $\eta_{N_C} = 1$

א. חשב את ספיקת הזרימה הקרה (ספיקה עוקפת), $\dot{m}_c$.

ב. חשב את מהירות האוויר ביציאה מנחיר הפליטה של הזרימה הקרה, U_{18} .

ג. 1. חשב את מספר המאך של הזרימה מנחיר הפליטה של הזרימה הקרה, M_{18} .

2. האם נחיר הפליטה של הזרימה הקרה הוא חנוקי? נמק את תשובתך.

ד. 1. חשב את הדחף המתקבל מן הזרימה הקרה, F_C .

2. חשב את הדחף הכולל, F_N .

3. חשב את תצורת הדלק הסגולית, S.F.C., ביחידות $\frac{\text{kg/sec}}{\text{N}}$.

שאלה 6

להלן נתוני הביצועים של מנוע טורבו-מניפה בעל זרימות נפרדות במצב סטטי, בגובה פני הים ובתנאי אטמוספירה סטנדרטית.

– יחס העקיפה: $BPR = 8$

– הדחף הסגולי: $\frac{F_N}{\dot{m}_a} = 250 \frac{N}{kg/sec}$

– תצרוכת הדלק הסגולית: $SFC = 0.0326 \frac{kg}{N \cdot hr}$

– יחס הלחצים במניפה: $\frac{P_{2.5}}{P_2} = 1.45$

– יחס הלחצים הכולל: $\frac{P_3}{P_2} = 22$

– ספיקת האוויר הכוללת: $\dot{m}_a = 450 \frac{kg}{sec}$

– חום הבעירה של הדלק: $q_R = 43,100 \frac{kJ}{kg_{fuel}}$

נתונים נוספים:

– קיבול החום הסגולי בלחץ קבוע של האוויר והגז הוא קבוע: $C_p = 1,005 \frac{J}{kg \cdot K}$.

– היחס בין קיבולי החום הסגוליים של האוויר והגז הוא קבוע: $\gamma = 1.4$.

– רכיבי המנוע הם רכיבים אידאליים – הנצילות שלהם היא 100% ואין בהם מפלי לחץ.

א. חשב את הטמפרטורה הסטטית ביציאה מנחיר הזרימה הקרה.

ב. חשב את תרומת הדחף של נחיר הזרימה הקרה.

ג. חשב את הטמפרטורה בכניסה לטורבינת לחץ גבוה.

ד. חשב את ההספק הדרוש להנעת המדחס ללחץ גבוה.

שאלה 5

מנוע טורבוסיילון בעל נחיר מתואם מותקן על מטוס אשר טס במהירות על-קולית קבועה באטמוספירה סטנדרטית:

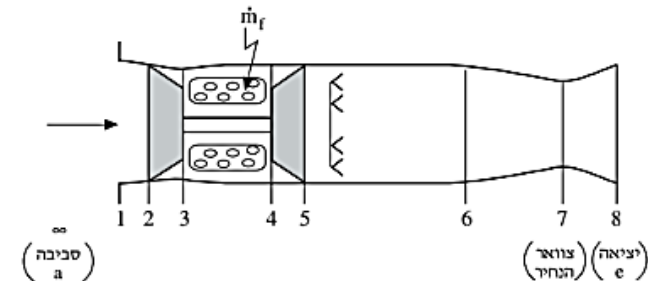
- גובה הטיסה: $h = 8 \text{ km}$
- מספר מאך של הטיסה: $M = 1.8$
- שטח חתך הלכידה של האוויר במנוע: $A_d = 0.36 \text{ m}^2$
- ספיקת הדלק: $\dot{m}_f = 2.1 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$
- נצילות ההנעה של המנוע: $\eta_p = 0.52$
- הנצילות התרמית של המנוע: $\eta_{th} = 0.65$
- חום השריפה של הדלק בתא השריפה: $q_R = 42 \times 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}_{\text{fuel}}}$
- א. חשב את מהירות הטיסה, U_d .
- ב. חשב את היחס בין ספיקת הדלק לספיקת האוויר, f .
- ג. חשב את מהירות פליטת הגזים ביציאה מהנחיר, U_e .
- ד. חשב את דחף המנוע נטו, F_N .
- ה. חשב את הנצילות הכללית של המנוע, η_o .

פרק שני: מנועי מטוסים (40 נקודות)

ענה על שתיים מבין השאלות 4-6 (לכל שאלה – 20 נקודות).

שאלה 4

באיור לשאלה זו מתואר מנוע טורבו-סילון ומסומנות בו תחנות המנוע.



איור לשאלה 4

נתוני הסביבה והמנוע:

—	טמפרטורת הסביבה:	$T_a = 249 \text{ K}$
—	לחץ הסביבה:	$p_a = 0.46 \text{ bar}$
—	ספיקת האוויר העובר דרך המנוע:	$\dot{m}_a = 70 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$
—	נצילות הבעירה בתא השרפה:	$\eta_b = 0.93$
—	ההספק שמספקת הטורבינה:	$P_T = 30 \text{ MW}$
—	טמפרטורת העצירה האיזנטרופית ביציאה מן המדחס:	$T_{03s} = 686 \text{ K}$
—	טמפרטורת העצירה ביציאה מן המדחס:	$T_{03} = 750 \text{ K}$
—	טמפרטורת העצירה ביציאה מתא השרפה:	$T_{04} = 1,500 \text{ K}$

הנחות:

- הגז הוא אוויר והוא מתנהג כגז משוכלל.
- כונס המנוע הוא אידיאלי — מתרחש בו תהליך של דחיסה איזנטרופית.
- הזנח את מהירות הזרימה במדחס.

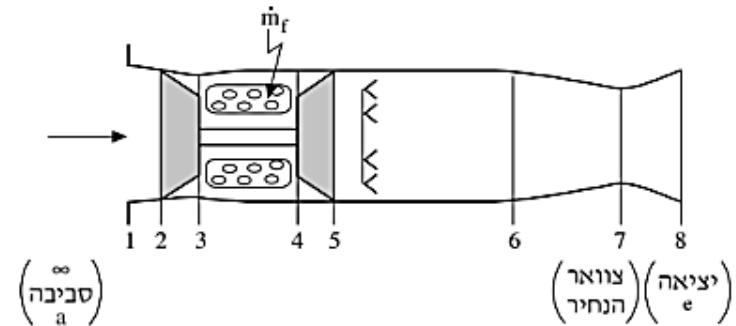
נתונים נוספים:

- קיבול החום הסגולי בלחץ קבוע: $c_p = 1005 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
- היחס בין קיבולי החום של האוויר: $\gamma = 1.4$
- חום השרפה של הדלק בתא השרפה: $q_R = 42 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}_{\text{fuel}}}$

- סרטט באופן איכותי דיאגרמת טמפרטורה-אנטרופיה (T-S) של התהליכים המתרחשים בגז בין תחנה a לתחנה 4 במנוע. סמן בדיאגרמה את האיזוברות השונות ואת הטמפרטורה T_a .
- חשב את טמפרטורת העצירה בכניסה למדחס, T_{02} .
- חשב את מספר מאך של הטיסה, M_a .
- חשב את לחץ העצירה בכניסה למדחס, p_{02} .
- חשב את נצילות המדחס, η_c .
- חשב את לחץ העצירה ביציאה מן המדחס, p_{03} .
- חשב את היחס $f = \frac{\text{ספיקת הדלק}}{\text{ספיקת האוויר}}$ בתא השרפה.

שאלה 5

באיור לשאלה 5 מתואר מנוע טורבו-סילון ומסומנות בו תחנות המנוע.



איור לשאלה 5

נתוני הסביבה והמנוע:

- ספיקת האוויר העובר דרך המנוע: $\dot{m}_a = 60 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$
- דחף המנוע: $F = 60,000 \text{ N}$
- טמפרטורת הסביבה: $T_a = 252 \text{ K}$
- לחץ הסביבה: $P_a = 0.5 \text{ bar}$
- נצילות הבעירה בתא השריפה: $\eta_b = 0.83$
- ההספק המסופק על-ידי הטורבינה: $P_T = 25 \text{ MW}$
- טמפרטורת העצירה האינטרופית ביציאה מהמדחס: $T_{03s} = 680 \text{ K}$
- טמפרטורת העצירה ביציאה מתא השריפה: $T_{04} = 1480 \text{ K}$
- היחס בתא השריפה: $f = \frac{\text{ספיקת הדלק}}{\text{ספיקת האוויר}} = 0.022$
- נחיר המנוע מותאם לתנאי הסביבה: $P_8 = P_e = P_a$

הנחות:

- הגז הוא אוויר והוא מתנהג כגז משוכלל.
- כונס המנוע הוא אידאלי (תהליך דחיסה איזנטרופי).
- מהירות הזרימה במדחס זניחה.

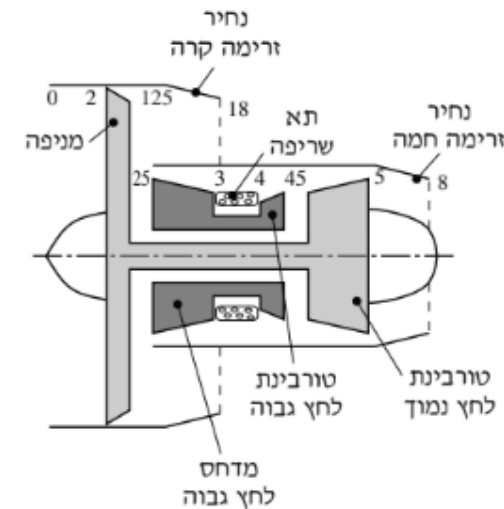
נתונים נוספים:

- קיבול החום הסגולי בלחץ קבוע הוא קבוע: $C_p = 1,005 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
- היחס בין קיבולי החום של האוויר: $\gamma = 1.4$
- חום שריפת הדלק בתא השריפה: $q_R = 42 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}_{\text{fuel}}}$

- א. סרטט באופן איכותי דיאגרמת טמפרטורה-אנטרופיה (T-S) של התהליכים המתרחשים בגז בין תחנה a לתחנה 4 במנוע. סמן את האיזוברות השונות בדיאגרמה שסרטטת.
- ב. חשב את טמפרטורת העצירה ביציאה מהמדחס, T_{03} .
- ג. חשב את טמפרטורת העצירה בכניסה למדחס, T_{02} .
- ד. חשב את מספר המאך של הטיסה, M_a .
- ה. חשב את לחץ העצירה בכניסה למדחס, p_{02} .
- ו. חשב את נצילות המדחס, η_c .
- ז. חשב את לחץ העצירה ביציאה מהמדחס, p_{03} .
- ח. חשב את מהירות הטיסה, u_a , ואת מהירות הפליטה של הגזים, u_e .

שאלה 5

באיור לשאלה זו מתואר מנוע טורבו-מניפה דו-צירי. המנוע מותקן על מטוס אשר טס בגובה $h = 11 \text{ km}$ בתנאי אטמוספירה סטנדרטית.



איור לשאלה 5

- טמפרטורת העצירה של הזרימה הקרה ביציאה מהנחיר הקר: $T_{018} = 350.84 \text{ K}$
- לחץ העצירה של הזרימה הקרה ביציאה מהנחיר הקר: $P_{018} = 60.262 \text{ kPa}$
- לחץ העצירה של הזרימה החמה ביציאה מהנחיר החם: $P_{08} = 36.3 \text{ kPa}$

הנחות:

- ספיקת הדלק זניחה ביחס לספיקת האוויר.
- נחיר הפליטה החם ונחיר הכניסה הקר מתכנסים.

- א. חשב את יחס המגח, RR .
- ב. חשב את ספיקת האוויר הכוללת במנוע, $\dot{m}_a$.
- ג. חשב את טמפרטורת העצירה בכניסה למדחס, T_{025} .
- ד. חשב את טמפרטורת העצירה ביציאה מהמדחס, T_{03} .
- ה. בדוק באמצעות חישובים אם נחיר הפליטה החם ונחיר הפליטה הקר חנוקים.

נתונים:

- מספר המאך של הטיסה: $M_a = 0.8$
- יחס העקיפה: $BPR = \frac{\dot{m}_{COLD}}{\dot{m}_{HOT}} = 6$
- הלחץ בכניסה למניפה: $P_{02} = 34.5 \text{ kPa}$
- הלחץ בכניסה למדחס הלחץ הגבוה: $P_{025} = 61.5 \text{ kPa}$
- הלחץ ביציאה ממדחס הלחץ הגבוה: $P_{03} = 426 \text{ kPa}$
- הנצילות האיזנטרופית של מדחס הלחץ הגבוה: $\eta_C = 0.85$
- ספיקת האוויר העובר בליבה: $\dot{m}_{HOT} = \dot{m}_{25} = 20 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$
- יחס קיבולי החום של האוויר: $\gamma_a = 1.4$
- יחס קיבולי החום של הגז: $\gamma_g = 1.333$