



משרד החינוך
המינהל למדע ולטכנולוגיה

תכנית לימודים

התמחות: **מערכות תעופה**

מקצוע: **מנועי מטוס**

כיתה: **י"ד**

תשס"ט 2009

מנועי מטוס להנדסאים

שעות לימוד:	120 שעות עיוני, 48 התנסותי
טרימסטרים:	ג*, ד, ה – עיוני והתנסותי
דרישות קדם:	מנועי סילון לטכנאים י"ג
מבחן חיצוני:	אווירודינמיקה ומנועי מטוס ה, סמל שאלון 710933 מעבדה במערכות תעופה ה, סמל שאלון 710936

א. מבוא

תפיסה רעיונית של התכנית (רציונל)

תכנית הלימודים מנועי מטוס לכיתה י"ד היא תכנית העמקה במנועים המשמשים בתעופה. הסטודנטים ילמדו ויעמיקו ברכיבי המנוע הסילוני, ילמדו ויתרגלו את אופן פעולתו של המבער האחורי.

מתבצעת היכרות עם מנוע המגח הסילוני והרחבה במנועי בוכנה.

ב. מטרות

1. רכישת ידע והבנה של מושגים, חוקים ועקרונות פיזיקליים החיוניים לצורך הבנת נושאי הלימוד.
2. פיתוח דרכי חשיבה ביקורתית וכן הבנת דרכי חקר לפתרון בעיות.
3. יכולת לנתח אופן פעולת מנועים שונים.
4. פיתוח כישורים ומיומנויות:
 - פיתוח מיומנויות למידה עצמית: יכולת להשתמש בספרייה ובמערכות מידע ממוחשבות, היכולת לקרוא, לנתח ולהפיק מידע ממאמרים בכתבי עת.
 - פיתוח היכולת לנתח גרפים, טבלאות וכדומה.
 - פיתוח כושר הסתכלות ומיומנויות עבודה במעבדה (עריכת מדידות, שימוש במכשירים) וכדומה.
 - פיתוח הרגלי עבודה: סדר, דייקנות וכדומה.

המטרות האופרטיביות

- הסטודנטים יבינו את המושגים ואת העקרונות הפיזיקליים המתארים את ביצועי המנועים השונים ויהיו מסוגלים להשתמש בהם.
- הסטודנטים יהיו מסוגלים לתת הסברים מדעיים ותמציתיים לתופעות המתרחשות והקשורות לתופעות המתרחשות במנועים השונים.
- הסטודנטים יהיו מסוגלים לנתח ולהסביר את אופן הפעולה של מנועים שונים וידעו לערוך השוואה בין סוגי המנועים השונים.
- הסטודנטים ישתמשו באופן נכון בחומר לימודי נלווה (ספרים, אמצעים ממוחשבים, טבלאות, גרפים) על מנת לקבל מידע נוסף ומועשר לתכנים שנלמדו.
- הסטודנטים יפתרו בדרך מדויקת ונכונה תרגילים ושאלות במנועים.
- הסטודנטים יתנסו בעבודה מעבדתית לפיתוח מיומנות של עבודה ניסויית והעמקת הידע במנועי בוכנה שונים.

ג. התכנים

■ לימודים עיוניים – כיתה י"ד

טרימסטר ג: 4 ש"ש

טרימסטר ד: 3 ש"ש

טרימסטר ה: 3 ש"ש

ראשי פרקים

שעות	נושאי הלימוד	
8	המבער האחורי	1
10	ביצועי מנוע בעל מבער אחורי	2
8	כונס אוויר	3
	המדחס:	4
10	4.1 המדחס הצירי	
8	4.2 תופעות בעייתיות במדחס הצירי	
6	4.3 המדחס הצנטריפוגלי	
6	4.4 מפת ביצועי מדחס	
8	תא שרפה	5
	טורבינה	6
10	6.1 הטורבינה הצירית	
4	6.2 סוגי טורבינות ציריות	
4	6.3 אופייני טורבינה	
2	6.4 שינוי פרופיל הלהב	
4	6.5 בעיית חומרים ומאמצים בטורבינה (תיאור)	
6	נחיר	7
8	ביצועי מנוע והשוואה בין מנועים שונים	8
8	מנועי בוכנה בתעופה	9
10	אופייני ביצוע של מנוע בוכנה	10
120	סה"כ	

פירוט התכנים (הנושאים)

שעות	נושאי הלימוד	שבוע
8	<p style="text-align: center;">המבער האחורי</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ תפקידי המבער האחורי ■ הדרישות ממערכת המבער האחורי ■ מבנה המבער האחורי ■ אופן הפעולה של המבער האחורי ■ תיאור מחזור הפעולה של מנוע סילון בעל מבער אחורי בדיאגרמת T-s ■ יחס ספיקת דלק / ספיקת גז במבער אחורי ■ כוח הדחף עם הפעלת המבער האחורי ■ מהירות פליטת הגז עם הפעלת המבער האחורי ■ תצרוכת הדלק עם הפעלת המבער האחורי ■ תצרוכת הדלק הסגולית עם הפעלת המבער האחורי ■ משוואת האנרגיה במבער האחורי ■ נצילות הבעירה במבער האחורי ■ חניקה: הלחץ, הטמפרטורה, הצפיפות, ספיקת הגז, מהירות הגז, מספר מאך בצוואר החנוק ■ הגדלת שטח חתך צוואר הנחיר 	2-1
10	<p style="text-align: center;">ביצועי מנוע בעל מבער אחורי</p> <p>חישובי ביצוע מנוע טורבו סילון בעל מבער אחורי עם נחיר מתכנס: חישובי מהירות, ספיקת הגז, שטח חתך צוואר הנחיר, כוח הדחף, תצרוכת דלק סגולית, דחף סגולי, טמפרטורות עצירה, לחצי עצירה, הפסדי לחץ סטגנציה</p>	3-4
8	<p style="text-align: center;">כונס אוויר</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ תפקיד, אופן פעולה בסיסי מיקום ותצורות כונס ■ כונס תת קולי <ul style="list-style-type: none"> □ אופן פעולה ומבנה כללי □ מצבי פעולה לכונסים תת-קוליים ■ כונס עבר-קולי (יצירת גל הלם ניצב לפני הכונס) ■ כונס על-קולי (יצירת גלי הלם משופעים) <ul style="list-style-type: none"> □ מבנה אופייני של כונס על-קולי 	6-5

שעות	נושאי הלימוד	שבוע
	<ul style="list-style-type: none"> □ כונס בעל גאומטריה משתנה: – מבנה עקרוני ואופן פעולה – כונס עם "עכבר" – כונס עם משטחים נייחים/נעים ("רמפות") □ תופעות בעייתיות בכונס – הזדקרות בכונס – מצבים שבהם מופיעה הזדקרות בכונס 	
10	<p style="text-align: center;">המדחס</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ המדחס הצירי <ul style="list-style-type: none"> □ כללי: תפקיד, דרישות וסוגי מדחסים □ מבנה עקרוני של מדחס צירי (להבי רוטור, שבשבות סטטור) □ אופן פעולה והשתנות תכונות של דרגה במדחס הצירי: <ul style="list-style-type: none"> – אנליזה של משולשי מהירויות מהירות מוחלטת, מהירות יחסית ומהירות משיקית זווית המהירות המוחלטת וזווית המהירות היחסית בניית משולשי מהירויות אנליזת משולשי מהירויות בדרגה – השתנות תכונות האוויר בלהבי הרוטור ובשבשבות הסטטור – ההספק הנמסר לדרגה משיקולים תרמודינמיים ומשיקולים דינמיים – ההספק הנמסר לדרגה משיקולים דינמיים ותלותו במהירות המשיקית של הרוטור ובמהירות הצירית של האוויר (ספיקת האוויר) – נצילות הדרגה – יחס הלחצים לדרגה – חישוב יחס הלחצים הכולל של מדחס רב שלבי ■ תופעות בעייתיות במדחס הצירי: <ul style="list-style-type: none"> □ הזדקרות מדחס □ ה"נחשול" □ הגורמים להזדקרות במדחס ומצבי הטיסה שבהם גורם זה משפיע 	15-7
8		

שעות	נושאי הלימוד	שבוע
6	<ul style="list-style-type: none"> □ מנגנונים לצמצום תופעת ההזדקרות □ תופעת החניקה □ הגורמים לחניקה במדחס ומצבי הטיסה שבהם גורם זה משפיע □ מנגנונים לצמצום תופעת החניקה □ מדחס דו צירי ■ המדחס הצנטריפוגלי □ מבנה (מאיץ, מאט וסעפת המדחס) □ אופן פעולה □ אנליזה של משולשי מהירויות □ תיאור של השתנות תכונות הזרימה במדחס □ הספק המדחס משיקולים דינמיים ותרמודינמיים □ השוואה בין מדחס צירי לבין מדחס רדיאלי ■ מפת ביצועי מדחס □ תיאור מתקן ניסוי לבדיקת ביצועי המדחס □ ערכים מתוקנים □ תיאור מפת המדחס □ מסקנות ממפת המדחס □ תרגול מפת המדחס 	
8	<p style="text-align: center;">תא שרפה</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ תפקיד ודרישות מתא השרפה ■ סוגי תאי שרפה מעשיים: <ul style="list-style-type: none"> □ תא שרפה כדי □ תא שרפה טבעתי □ תא שרפה מעורב ■ תיאור פעולת תא השרפה (כימיה של שרפה) ■ תיאור שיטות של הזרקת דלק ■ השפעת משתני הפעולה (לחץ אוויר, טמפרטורת אוויר, יחס דלק/אוויר, גובה הטיסה ומהירות זרמת אוויר) על ביצועי תא השרפה 	-16 18
10	<p style="text-align: center;">טורבינה</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ הטורבינה הצירית □ תפקיד, דרישות וסוגי טורבינה □ מבנה עקרוני של טורבינה צירית (נחירי סטטור, להבי רוטור ודרגה של טורבינה) 	-19 25

שעות	נושאי הלימוד	שבוע
4	<ul style="list-style-type: none"> □ תצורות של טורבינה צירית (טורבינות בעלות כמה דרגות הנעות במהירות סיבוב שווה או שונה) □ אופן פעולה עקרוני והשתנות תכונות הזרימה בדרגה <ul style="list-style-type: none"> – אנליזה של משולשי מהירויות: מהירות מוחלטת, מהירות יחסית ומהירות משיקית זווית המהירות המוחלטת וזווית המהירות היחסית בניית משולשי מהירויות ניתוח משולשי מהירויות בדרגה – השתנות תכונות הגזים בנחירי הסטטור ובלהבי הרוטור – ההספק המופק מדרגת טורבינה משיקולים תרמודינמיים – ההספק המופק מדרגת טורבינה משיקולים דינמיים – נצילות הדרגה – יחס לחצי עצירה בדרגה – מנת ראקציה ■ סוגי טורבינות ציריות □ טורבינת אימפולס – מבנה ואופן פעולה עקרוני של דרגת טורבינת אימפולס – משולשי מהירויות ואופן הפעולה – השתנות תכונות הגזים בדרגה □ טורבינת ראקציה – מבנה ואופן פעולה עקרוני של דרגת טורבינת ראקציה – משולשי מהירויות ואופן פעולה – השתנות תכונות הגזים בדרגה □ טורבינה ממוזגת: מבנה, משולשי מהירויות ואופן פעולה והשתנות תכונות הגזים ■ אופייני טורבינה □ ערכים מתוקנים (טמפרטורה טוטלית מתוקנת, לחץ טוטלי מתוקן, ספיקת גז מתוקנת, מהירות סיבוב מתוקנת) □ נקודת התכן ונקודות אל-תכן 	
2		
4		

שעות	נושאי הלימוד	שבוע
	<ul style="list-style-type: none"> □ תיאור מפת אופייני הטורבינה □ מסקנות ממפת אופייני הטורבינה □ תרגול מפת אופייני הטורבינה ■ שינוי פרופיל הלהב ■ בעיית חומרים ומאמצים בטורבינה (תיאור) □ סביבה ועומסים □ מאמצים וכישלונות – מאמצים בלהבים ובדיסקת הטורבינה – זחילה – התעייפות □ חומרים לייצור הטורבינה □ קירור הטורבינה 	
6	<p style="text-align: center;">הנחיר</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ תפקיד הנחיר ■ מבנה בסיסי של נחיר ■ פעולת נחיר הפליטה □ נחיר מתכנס □ נחיר מתכנס מתבדר 	-26 27
8	<p style="text-align: center;">ביצועי מנוע והשוואה בין מנועים שונים</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ השוואת ביצועי דחף, והשוואת תצרוכת דלק סגולית במנועים השונים (מנוע ליבה שווה) כפונקציה של תנאי הטיסה ■ תרגול 	-28 31
8	<p style="text-align: center;">מנועי בוכנה בתעופה</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ מחזור אוטו אידאלי (חזרה) ■ מחזור אוטו מעשי ■ אפיון מנועי בוכנה לפי מספר הפעימות: <ul style="list-style-type: none"> □ מנוע 4 פעימות לפי מחזור אוטו: מבנה בסיסי ועקרון פעולה □ מנוע 2 פעימות לפי מחזור אוטו, מבנה בסיסי ועקרון פעולה ■ אפיון מנועי בוכנה על פי סדר הצבתם הגאומטרי: טורי, רדיאלי, V אופקי, בוקסר (שטוח) ■ אפיון מנועי בוכנה על פי מספר הצילינדרים 	-32 33

שעות	נושאי הלימוד	שבוע
10	<p>אופייני ביצוע של מנוע בוכנה</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ הספק אינדיקטורי (Indicator power) ■ הספק החיכוך (Friction power) ■ הספק לבלימה (Brake power) ■ המומנט המתפתח על גל הארכובה ■ לחץ אפקטיבי ממוצע (MEP): <ul style="list-style-type: none"> □ לחץ אפקטיבי ממוצע אינדיקטורי □ לחץ אפקטיבי ממוצע חיכוך □ לחץ אפקטיבי ממוצע בלימה ■ תצרוכת דלק סגולית: <ul style="list-style-type: none"> □ תצרוכת דלק סגולית אינדיקטורית □ תצרוכת דלק סגולית חיכוך □ תצרוכת דלק סגולית בלימה ■ נצילות מכנית של מנוע בוכנה 	–34 36

■ לימודים התנסותיים – כיתה י"ד

טרימסטר ג: 1 ש"ש
טרימסטר ד: 1 ש"ש
טרימסטר ה: 2 ש"ש

ראשי פרקים

שעות	נושאי הלימוד	
6	הכרה מעשית של מנועי בוכנה ומנוע ואנקל	1
4	מערכת הצתה	2
8	מערכת קירור	3
8	מערכת שמן	4
8	מערכת דלק	5
4	המתנע	6
2	קומפרסיה	7
4	האלטרנטור	8
4	הרצת מנוע	9
48	סה"כ	

פירוט התכנים (הנושאים)

שעות	נושאי הלימוד
6	<p>1 הכרה מעשית של מנועי בוכנה ומנוע ואנקל תעופתיים</p> <p>1. אמצעי זהירות במעבדה 2. הכרה מעשית של מנוע בוכנה 2 פעימות ורכיביו 3. הכרה מעשית של מנוע בוכנה 4 פעימות ורכיביו 4. הכרה מעשית של מנוע ואנקל ורכיביו</p>
4	<p>2 מערכת ההצתה</p> <p>1. הכרה מעשית של מערכות הצתה במנועי בוכנה 2. פירוק והרכבת מצתים 3. פירוק והרכבת רתמות הצתה</p>
8	<p>3 מערכת קירור</p> <p>1. הכרה מעשית של מערכות קירור 2. פירוק והרכבת מכל עיבוי 3. פירוק והרכבת משאבת מים 4. פירוק והרכבת תרמוסטט 5. פירוק והרכבת מצנן + מניפת קירור</p>
8	<p>4 מערכת שמן</p> <p>1. הכרה מעשית של מערכת השמן 2. ניקוז שמן 3. פירוק והרכבה של מסנן שמן 4. פירוק והרכבת צנרת שמן 5. הכרה מעשית של משאבות שמן 6. פירוק והרכבה של משאבות שמן</p>
8	<p>5 מערכת הדלק</p> <p>1. הכרה מעשית של מערכת אספקת דלק 2. הכרה מעשית של מערכות הזרקת דלק 3. פירוק והרכבת מסנן דלק</p>

שעות	נושאי הלימוד
	4. הכרה, פירוק והרכבה של משאבות דלק
4	המתנע 1. הכרת מתנעים 2. פירוק והרכבת מתנע
2	קומפרסיה 1. בדיקת קומפרסיה
4	האלטרנטור 1. הכרה מעשית של האלטרנטור 2. פירוק והרכבת אלטרנטור
4	הרצת מנוע 1. ביקור במוסך והרצת מנועים במתקן הרצה

ד. דרכי הוראה

המקצוע משלב לימוד תיאורטי המלווה בהתנסות מעשית במעבדות. הפעילות המעבדתית תהיה בתחום מנועי הבוכנה, תחום שבו הסטודנטים מגלים עניין רב. במעבדת המנועים יהיה אפשר להמחיש, להציג ולהראות מערכות ודגמים שיאפשרו הבנה טובה יותר של תחום הנעה זה. הלימוד העיוני הוא פרונטלי, בכיתת לימוד במתכונת של הרצאה, מלווה במצגות או בשקפים. כחלק מן הלימוד יש לחלק ללומדים דפי עזר, דפי נוסחאות, טבלאות, תמונות וחומרים כתובים נוספים שעשויים לעזור.

סביבה התנסותית

המעבדות צריכות להיות מאובזרות ומצוידות בציוד הנדרש על מנת לאפשר את הפעילות ההתנסותית והתצוגות הנדרשות. אפשר גם לשלב ביקור במוסכים שבהם נעשית פעילות במנועי בוכנה מתאימים

ה. מטלות עיקריות

מטלות ביצוע (תרגילים לעבודה עצמית)

באמצעות תרגילים אלו יהיה אפשר להעריך את מידת הפנמת החומר אצל הסטודנטים ויהיה אפשר לבחון אם שיטת הלימוד הייתה יעילה או שמא החומר לא הובן והמטרות לא הושגו. בעזרת המטלות יתאפשר לבחון את היכולת של הסטודנטים ליישם את החומר הנלמד תוך הפעלת מיומנויות חשיבה כמו: תכנון, הסקת מסקנות, ביקורתיות. יש לתת תרגילי בית ועבודות באופן שוטף כדי לוודא שהחומר הנלמד אכן מתורגל על ידי הסטודנטים.

בחנים ומבחנים

מטרתם לבדוק ולבחון את הפנמת החומר אצל הסטודנטים וכן את יכולתם להשתמש במידע שקיבלו על מנת לפתור בעיות ברמה דומה או ברמה גבוהה יותר. באמצעות הבחנים והמבחנים אפשר להעריך אם הושגו מטרות הלמידה קרי: הבנת עובדות, מושגים ועקרונות.

יש לערוך לפחות שני בחנים במהלך סמסטר ובהם לשלב שאלות מן הנושאים העיוניים שנלמדו ותורגלו. מבחן סמסטר יינתן פעם אחת במהלך הסמסטר. משקלו יהיה לא פחות מ-50% ויכלול שאלות מתומצתות בנושאים שונים שנלמדו.

1. רשימת מושגים ומילות מפתח

– המבער האחורי (המב"א)	– מהירות משיקית	– מנוע 4 פעימות
– יחס ספיקת דלק / ספיקת הגז במבער האחורי	– מהירות צירית	– מנוע 2 פעימות
– נצילות הבעירה במבער אחורי	– נצילות הדרגה	– מנוע סיבובי (ואנקל)
– כונס תת-קולי	– יחס לחצים לדרגה	– הספק אינדיקטורי
– כונס עבר-קולי	– הזדקרות מדחס	– הספק החיכוך
– כונס על קולי	– נחשול	– הספק לבלימה
– כונס בעל גאומטריה משתנה	– חניקה	– לחץ אפקטיבי ממוצע אינדיקטורי
– כונס עם עכבר	– מפת מדחס	– לחץ אפקטיבי ממוצע לחיכוך
– כונס עם משטחים נייחים/נעים	– ערכים מתוקנים	– לחץ אפקטיבי ממוצע בלימה
– כונס מתכנס – מתבדר	– טמפרטורה טוטלית מתוקנת	– תצרוכת דלק סגולית אינדיקטורית
– הזדקרות בכונס	– לחץ טוטלי מתוקן	– תצרוכת דלק סגולית לחיכוך
– תופעת ה"באז"	– מדחס דו-צירי	– תצרוכת דלק סגולית לבלימה
– להבי רוטור	– מדחס רדיאלי	– נצילות מכנית של מנוע בוכנה
– שבשבות סטטור	– תא שרפה כדי	
– דרגה	– תא שרפה טבעתי	
– משולשי מהירויות	– תא שרפה מעורב	
– מהירות מוחלטת	– נחירי סטטור	
– מהירות יחסית	– מנת ראקציה	
	– טורבינת אימפולס	
	– טורבינת ראקציה	
	– טורבינה ממוזגת	
	– מפת טורבינה	

2. ספרי לימוד מומלצים

1. מנועי טורבינה למטוסים, מאת שלמה לוי, המרכז לחינוך טכנולוגי חולון 1995.
2. תורת המנוע – מנוע דיזל, חלק ד, מינץ, הוצאת יסוד, 1971.

ח. ביבליוגרפיה (מקורות נוספים)

3. Mechanics and Thermodynamics of Propulsion - Philip Hill and Carl Peterson