



משרד החינוך  
המינהל למדע ולטכנולוגיה

# תכנית לימודים

התמחות: מערכות תעופה

מקצוע: אווירודינמיקה

כיתה: י"ד

תשס"ט 2009

# אוורודינמיקה

שעות לימוד:	132 שעות עיוני, 36 התנסותי
טרימסטרים:	ג*, ד, ה – עיוני והתנסותי
דרישות קדם:	אוורודינמיקה י"ג
מבחן חיצוני:	אוורודינמיקה ומנועי מטוס ה, סמל שאלון 710933 מעבדה במערכות תעופה ה, סמל שאלון 710936

## א. מבוא

### תפיסה רעיונית של התכנית (רציונל)

המקצוע "אוורודינמיקה" לכיתה י"ד הוא המשך "טבעי" למקצוע ה"אוורודינמיקה" שנלמד בכיתה י"ג ומהווה אחד המקצועות החשובים והעיקריים בהתמחות מערכות תעופה.

בחלק זה התלמיד יפנים כי המטוס אינו גוף נקודתי ולכן פועלים עליו כוחות אוורודינמיים במקומות שונים היוצרים מומנטים אוורודינמיים שונים המשפיעים על היציבות ועל ניהוג המטוס.

מקצוע זה עוסק בתנועות היסוד של המטוס, בכוחות האוורודינמיים ובמומנטים האוורודינמיים שמחוללים תנועות אלו. ההתמקדות היא במתן מענה לבעיות יציבות הכרוכות באופי הניהוג של המטוס.

מכיוון שהמקצוע עוסק גם באוורודינמיקה של טיסה במהירויות גבוהות, בצורות פרופילים וכנפיים המתאימים לכך – יילמדו לעומק חוקי הזרימה-דחיסה.

### דרכי הערכה

הערכת הידע תיעשה באמצעות מבדקים (מטלות, תרגילים, בחנים ומבחנים). במסגרת הלמידה וההוראה יינתנו לסטודנטים מטלות (תרגילים) וייערכו מבחני מבדק שמטרתם תהיה להעריך את הישגי הסטודנטים במקצוע. באמצעות כלי הערכה אלו יהיה אפשר לקבוע את יעילות ההוראה ואת הפנמת החומר הנלמד בקרב הסטודנטים הלומדים.

## ב. מטרות

1. רכישת ידע והבנה של מושגים, חוקים ועקרונות פיזיקליים החיוניים לצורך הבנת נושא היציבות.
2. הכרת תופעות אווירודינמיות של כלי טיס הנעים במהירויות גבוהות.
3. פיתוח דרכי חשיבה ביקורתית וכן הבנת דרכי חקר לפתרון בעיות.
4. פיתוח כישורים ומיומנויות:
  - פיתוח מיומנויות למידה עצמית: יכולת להשתמש בספרייה, במערכות 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 המשמעות של מושגי יסוד ועקרונות פיזיקליים מנחים. יהיו מסוגלים לתת הסברים מדעיים ותמציתיים לתופעות המתרחשות והקשורות לתעופה.
- הסטודנטים ישתמשו נכון בחומרי לימוד נלווים (ספרים, אמצעים ממוחשבים) על מנת לקבל מידע נוסף ומועשר לתכנים שנלמדו.
- הסטודנטים יפתרו בדרך מדויקת ונכונה תרגילים ושאלות הקשורות בנושאי אווירודינמיקה.
- הסטודנטים יתנסו בעבודה מעבדתית לפיתוח מיומנות של עבודה ניסויית והמחשת עקרונות.

## ג. התכנים

### ■ לימודים עיוניים - כיתה י"ד

טרימסטר ג: 4 ש"ש עיוני + 1 ש"ש התנסותי  
 טרימסטר ד: 3 ש"ש עיוני + 1 ש"ש התנסותי  
 טרימסטר ה: 4 ש"ש עיוני + 1 ש"ש התנסותי

#### ראשי פרקים

שעות	נושאי הלימוד
	<b>יציבות, ניהוג ותמרון כלי טיס 85 שעות</b>
3	1 מבוא ומושגי יסוד
10	2 תרומות חלקי המטוס למומנט העלרוד הכללי של המטוס
10	3 מומנט העלרוד הכללי של המטוס
10	4 השפעת חלקי המטוס על היציבות הסטטית בעלרוד
10	5 יציבות סטטית בעלרוד
10	6 מומנט הסבסוב
8	7 יציבות סטטית בסבסוב (כיוונית)
10	8 תופעות דינמיות
8	9 מעטפת הטיסה
6	10 מעטפת עומסים
	<b>דינמיקה של טיסה במהירויות גבוהות 47 שעות</b>
6	11 מושגי יסוד בזרימה דחיסה
10	12 גלי הלם
8	13 מניפות התפשטות
2	14 תופעות מיוחדות במהירויות גבוהות
8	15 הפרופיל האווירודינמי במהירויות תת-קוליות ועבר קוליות
10	16 הפרופיל העל-קולי
3	17 הכנף המשוכה
<b>132</b>	<b>סה"כ</b>

## פירוט התכנים (הנושאים)

שעות	נושאי הלימוד	שבוע
<b>3</b>	<p style="text-align: center;"><b>יציבות, ניהוג ותמרון כלי טייס</b></p> <p style="text-align: center;"><b>מבוא ומושגי יסוד</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ מערכת צירי המטוס</li> <li>■ תנועות היסוד הקוויות</li> <li>■ תנועות היסוד הסיבוביות: עלרוד, גלגול וסבסוב</li> <li>■ המומנטים האווירודינמיים סביב צירי המטוס: מומנט העלרוד, מומנט הגלגול ומומנט הסבסוב</li> <li>■ הזנב האופקי: מייצב הגובה והגה הגובה</li> <li>■ הזנב האנכי: מייצב הכיוון והגה הכיוון</li> <li>■ מקדם מומנט העלרוד של המטוס</li> <li>■ מקדם מומנט הסבסוב של המטוס</li> </ul>	<b>1</b>
<b>10</b>	<p style="text-align: center;"><b>תרומות חלקי המטוס למומנט העלרוד הכללי של המטוס</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ תרומת הכנף <ul style="list-style-type: none"> <li>□ מרכז הלחץ</li> <li>□ המרכז האווירודינמי</li> <li>□ זווית ההכוונה של הכנף</li> <li>□ זווית ההתקפה של הכנף</li> <li>□ כוח העילוי הפועל על הכנף</li> <li>□ כוח ההתנגדות הפועל על הכנף</li> <li>□ המומנט סביב המרכז האווירודינמי</li> <li>□ מומנט העלרוד שמייצר הכנף סביב מרכז הכובד</li> <li>□ הגדרת מרחקים אל-ממדיים</li> <li>□ מקדם המומנט סביב המרכז האווירודינמי</li> <li>□ מקדם מומנט העלרוד שמייצר הכנף סביב מרכז הכובד</li> </ul> </li> <li>■ תרומת הזנב האופקי <ul style="list-style-type: none"> <li>□ השפעת עקבת הכנף על הזרימה המציפה את הכנף</li> <li>□ הלחץ הדינמי ה"שוטף" את הזנב האופקי</li> <li>□ גורם התיקון</li> <li>□ זווית ההכוונה של הזנב האופקי</li> <li>□ זווית ה-downwash</li> <li>□ זווית ההתקפה של הזנב האופקי</li> </ul> </li> </ul>	<b>3-2</b>

שעות	נושאי הלימוד	שבוע
	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ כוח העילוי הפועל על הזנב האופקי</li> <li>□ מומנט העלרוד שמייצר הזנב האופקי סביב מרכז הכובד</li> <li>□ הגדרת מרחקים אל-ממדיים</li> <li>□ הגדרת "נפח הזנב" האופקי</li> <li>□ מקדם מומנט העלרוד שמייצר הזנב האופקי סביב מרכז הכובד</li> <li>■ תרומת הגוף</li> <li>□ מומנט העלרוד שמייצר הגוף ותלותו בזווית ההתקפה</li> <li>□ הגדרת מקדם מומנט העלרוד שמייצר הגוף</li> <li>■ השפעת מערכת ההנעה</li> <li>□ מומנט העלרוד שמייצר כוח הדחף סביב מרכז הכובד</li> <li>□ השפעת הסטת זרימת אוויר המנוע על מומנט העלרוד ותלותו בזווית ההתקפה</li> <li>□ סיכום השפעת מערכת ההנעה על מומנט בעלרוד של המטוס</li> <li>□ מקדם מומנט העלרוד של מערכת ההנעה</li> </ul>	
10	<p style="text-align: center;"><b>מומנט העלרוד הכללי של המטוס</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ סיכום תרומות כל חלקי המטוס למומנט העלרוד הכללי של המטוס</li> <li>■ תיאור גרפי של: <ul style="list-style-type: none"> <li>□ כל מומנטי העלרוד ש"מייצרים" חלקי המטוס השונים כפונקציה של זווית ההתקפה</li> <li>□ מומנט העלרוד הכללי כפונקציה של זווית ההתקפה</li> </ul> </li> <li>■ סיכום תרומות חלקי המטוס למקדם מומנט העלרוד הכללי של המטוס</li> <li>■ תיאור גרפי של: <ul style="list-style-type: none"> <li>□ כל מקדמי מומנטי העלרוד ש"מייצרים" חלקי המטוס השונים כפונקציה של זווית ההתקפה</li> <li>□ מקדם מומנט העלרוד הכללי כפונקציה של זווית ההתקפה</li> </ul> </li> <li>■ משוואת קו העילוי של המטוס</li> <li>■ טיסה מקוזזת – תרגול</li> </ul>	6-5
10	<p style="text-align: center;"><b>השפעת חלקי המטוס על היציבות הסטטית בעלרוד</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ מבוא:</li> <li>□ הגדרת היציבות הסטטית</li> <li>□ יציבות סטטית חיובית, יציבות סטטית שלילית ויציבות סטטית ניטרלית</li> </ul>	8-7

שעות	נושאי הלימוד	שבוע
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ תנאי היציבות הסטטית בעלרוד</li> <li>■ קריטריון היציבות הסטטית בעלרוד</li> <li>■ תיאור קריטריון היציבות הסטטית מתוך תיאור גרפי של <math>M</math> ו-<math>C_M</math> כפונקציה של זווית ההתקפה.</li> <li>■ השפעת חלקי המטוס על היציבות הסטטית בעלרוד <ul style="list-style-type: none"> <li>□ השפעת הכנף</li> <li>□ השפעת הזנב האופקי</li> <li>□ השפעת גוף המטוס</li> <li>□ השפעת מערכת ההנעה</li> </ul> </li> </ul>	
10	<p style="text-align: center;"><b>יציבות סטטית בעלרוד</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ סיכום היציבות הסטטית בעלרוד של המטוס כולו</li> <li>■ היציבות הסטטית בעלרוד – תרגול</li> <li>■ שינוי תכונות היציבות על סף ההזדקרות</li> <li>■ השפעת מיקום מרכז הכובד של המטוס על היציבות הסטטית</li> <li>■ המגבלות על מיקום מרכז הכובד של המטוס <ul style="list-style-type: none"> <li>□ הנקודה הניטרלית (והמגבלה האחורית)</li> <li>□ הנקודה הקדמית</li> </ul> </li> <li>■ תרגול: מציאת הנקודה הניטרלית</li> <li>■ ניהוג המטוס בעלרוד</li> <li>■ ניהוג מטוס בעל יציבות סטטית בעלרוד</li> <li>■ גרף הניהוג של מטוס בעל יציבות סטטית בעלרוד</li> <li>■ גרף הניהוג של מטוס בלתי יציב סטטי בעלרוד</li> <li>■ היתרונות של מטוס בלתי יציב סטטי בעלרוד</li> </ul>	10-9
10	<p style="text-align: center;"><b>מומנט הסבסוב</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ הזנב האנכי <ul style="list-style-type: none"> <li>□ מבנה הזנב האנכי: מייצב כיוון והגה כיוון</li> <li>□ תפקיד הזנב האנכי</li> <li>□ זווית החלקה (זווית החלקה חיובית ושלילית)</li> <li>□ כוח העילוי הצדי הפועל על הזנב האנכי בעת החלקה</li> <li>□ מומנט הסבסוב שיוצר הזנב האנכי סביב מרכז הכובד בעת החלקה</li> <li>□ מקדם מומנט הסבסוב של הזנב האנכי בעת החלקה</li> <li>□ כוח העילוי הצדי כתוצאה מהטיית הגה כיוון בלבד (ללא החלקה)</li> </ul> </li> </ul>	12-11

שעות	נושאי הלימוד	שבוע
	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ מומנט הסבסוב סביב מרכז הכובד כתוצאה מהטיית הגה כיוון בלבד (ללא החלקה)</li> <li>□ מקדם מומנט הסבסוב סביב מרכז הכובד כתוצאה מהטיית הגה כיוון בלבד (ללא החלקה)</li> <li>□ "נפח הזנב" האנכי</li> <li>■ טיסה אסימטרית</li> <li>□ מישור הסימטריה, הטיסה הסימטרית</li> <li>□ בעיות הטיסה הסימטרית</li> <li>□ התנאים לקיום הטיסה האסימטרית</li> <li>□ המהירות הקריטית בטיסה האסימטרית</li> <li>□ תרגול הטיסה האסימטרית</li> </ul>	
8	<p style="text-align: center;"><b>יציבות סטטית בסבסוב (כיוונית)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ שיטות להגדלת היציבות הסטטית בסבסוב</li> <li>■ קריטריון היציבות הסטטית בסבסוב</li> <li>■ תיאור קריטריון היציבות הסטטית בסבסוב מתוך תיאור גרפי של <math>N-1</math> ו-<math>C_N</math> כפונקציה של זווית ההחלקה</li> <li>■ השפעת חלקי המטוס על היציבות הסטטית בסבסוב <ul style="list-style-type: none"> <li>□ השפעת הזנב האנכי</li> <li>□ תיאור השפעת הכנף</li> <li>□ תיאור השפעת גוף המטוס</li> <li>□ תיאור השפעת מערכת ההנעה</li> </ul> </li> <li>■ שליטת הטייס, כיוונית, על ידי הגה כיוון</li> <li>■ השפעת נפח הזנב האנכי על היציבות הסטטית</li> <li>■ סיכום היציבות הסטטית בסבסוב של המטוס כולו</li> </ul>	14-13
10	<p style="text-align: center;"><b>תופעות דינמיות</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ מבוא: תיאור היציבות הדינמית</li> <li>■ יציבות (ריסון) בגלגול <ul style="list-style-type: none"> <li>□ מומנט הגלגול</li> <li>□ תיאור המאזנות ואופן פעולתן</li> <li>□ תיאור השפעת תנועת הגלגול על יציבות הגלגול</li> <li>□ תיאור השפעת ההחלקה על יציבות הגלגול</li> <li>□ תיאור השפעת הסבסוב על יציבות הגלגול</li> </ul> </li> <li>■ כוחות ומומנטים מרסנים <ul style="list-style-type: none"> <li>□ תיאור הריסון בעלרוד</li> </ul> </li> </ul>	16-15



שעות	נושאי הלימוד	שבוע
	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ תיאור ריסון בסבסוב</li> <li>□ תיאור ריסון בגלגול</li> <li>■ תופעות צימוד</li> <li>□ מומנט גלגול בגלל תנועת סבסוב</li> <li>□ מומנט סבסוב בגלל תנועת גלגול</li> <li>■ אפקט דיהדרל:</li> <li>□ הגדרת זווית הדיהדרל</li> <li>□ השפעת זווית הדיהדרל על היציבות בגלגול</li> <li>■ גורמים נוספים היוצרים אפקט דיהאדרל:</li> <li>□ מיקום הכנף בגוף</li> <li>□ כנף משוכה לאחור</li> <li>□ מייצב הכיוון</li> </ul>	
8	<p style="text-align: center;"><b>מעטפת הטיסה</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ תיאור גרפי של גובה המטוס כפונקציה של מהירות הטיסה</li> <li>□ תיאור מגבלת מהירות מינימלית, מגבלת מהירות מרבית, גובה תקרת טיסה וביצועי טיסה אפשריים</li> <li>□ מעטפת טיסה מטוסי מדחף</li> <li>□ מעטפת טיסה מטוס סילון תת-קולי</li> <li>■ תיאור גרפי של גובה המטוס כפונקציה של מספר מאך</li> <li>■ תרגול</li> </ul>	18-17
6	<p style="text-align: center;"><b>מעטפת עומסים</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ תיאור גרפי של ספרת העומס כפונקציה של מהירות הטיסה</li> <li>□ תיאור מגבלת ספרת העומס המרבי <math>n_{max}</math></li> <li>□ תיאור מגבלת ספרת העומס המינימלית <math>n_{min}</math></li> <li>□ תיאור מגבלת המהירות המינימלית</li> <li>□ תיאור מגבלת המהירות המרבית</li> <li>□ תיאור ביצועי טיסה בסיסיים</li> <li>□ השתנות מעטפת העומסים עם גובה הטיסה</li> <li>□ תרגול</li> </ul>	20-19

שעות	נושאי הלימוד	שבוע
	<b>דינמיקה של טיסה במהירויות גבוהות</b>	
6	<b>מושגי יסוד בזרימה דחיסה</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ מבוא</li> <li>■ דחיסות האוויר</li> <li>■ מהירות הקול</li> <li>■ תיאור גלי דחיסה שמפיץ מקור נע</li> <li>■ מספר מאך</li> </ul>	24-22
10	<b>גלי הלם</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ מבוא</li> <li>■ גל מאך</li> <li>■ גל הלם אלכסוני</li> <li>■ שינוי תכונות הזורם דרך גל ההלם האלכסוני</li> <li>■ תרגול גל הלם אלכסוני תוך שימוש בגרפים וטבלאות</li> <li>■ גל הלם מנותק</li> <li>■ גלי הלם בצינורות</li> <li>■ גל הלם ניצב</li> <li>■ תרגול גל הלם ניצב תוך שימוש בגרפים וטבלאות</li> </ul>	28-25
8	<b>מניפות התפשטות</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ מניפות התפשטות</li> <li>■ שינוי תכונות דרך מניפת התפשטות</li> <li>■ תרגול מניפות התפשטות תוך שימוש בגרפים וטבלאות</li> <li>■ תרגול כללי: חישוב נתוני זרימה, תוך שימוש בטבלאות ובמפות, באזורים שונים דרך גלי הלם ניצבים, גלי הלם משופעים ומניפות</li> </ul>	30-29
2	<b>תופעות מיוחדות במהירויות גבוהות</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ תיאור כללי של הגדלת הגרר, חימום, רעידות, הפחתת יעילות הגאים במהירויות גבוהות</li> </ul>	31
8	<b>פרופיל האווירודינמי במהירויות תת-קוליות ועבר קוליות</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ הזרימה סביב פרופיל במספרי מאך תת-קולי שונים</li> <li>■ ביצועי פרופיל במספרי מאך שונים:</li> <li>□ תיאור השתנות המקדמים האווירודינמיים כתלות במספר מאך: התחום התת-קולי, התחום העבר-קולי, התחום העל-קולי</li> </ul>	33-32

שעות	נושאי הלימוד	שבוע
	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ הזדקרות ההלם</li> <li>□ גרר: גרר גלים</li> <li>■ השפעת פרמטרים שונים על התופעות העבר קוליות</li> <li>□ מנת העובי</li> <li>□ מיקום העובי המרבי</li> <li>□ הפרופיל הסופר קריטי</li> </ul>	
10	<p style="text-align: center;"><b>הפרופיל העל-קולי</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ תיאור הזרימה סביב פרופיל לוח שטוח</li> <li>■ תיאור הזרימה סביב פרופיל יהלום סימטרי</li> <li>■ תרגול: חישוב תכונות האוויר באזורים השונים סביב הפרופיל העל קולי וחישוב כוחות העילוי והתנגדות הפועלים על פרופיל אווירודינמי על-קולי (לוח שטוח, יהלום סימטרי)</li> </ul>	35-34
3	<p style="text-align: center;"><b>הכנף המשוכה</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ תיאור הכנף המשוכה</li> <li>■ השפעת זווית המשיכה על תופעות הדחיסות</li> <li>■ תיאור תכונות הכנף המשוכה</li> </ul>	36

## ■ לימודים התנסותיים - כיתה י"ד

טרימסטר ג: 1 ש"ש

טרימסטר ד: 1 ש"ש

טרימסטר ה: 1 ש"ש

### ראשי פרקים

שעות	נושאי הלימוד
6	1 מבוא למעבדה באווירודינמיקה
4	2 מכשירי מדידה
4	3 המחשת שדה זרימה תת-קולי עבור גופים שונים
4	4 מדידות בדיפיוז
4	5 מדידות בנחיר
4	6 מדידת מקדם ההתנגדות עבור גופים סימטריים שונים
4	7 מדידת מקדם העילוי בעבור פרופיל אווירודינמי
6	8 סיור לימודי במכון מחקר (כגון הטכניון, רפא"ל)
<b>36</b>	<b>סה"כ</b>

### פירוט התכנים (הנושאים)

שעות	נושאי הלימוד
6	<b>1 מבוא למעבדה באווירודינמיקה</b> 1. אי ודאויות במדידה 2. דיאגרמת פיזור של תוצאות ניסוי 3. התיאור הגרפי בניסוי 4. שימושי מחשב במעבדה
4	<b>2 מכשירי מדידה</b> 1. הכרה ואופן מדידת מהירויות הזרימה באמצעות צינור פיטו 2. הכרה ואופן מדידת הלחצים באמצעות מנומטר 3. מדידת כוחות באמצעות חיישנים המחוברים למחשב 4. הכרה ואופן הפעולה של מנהרת הרוח

שעות	נושאי הלימוד
4	<p><b>3 המחשת שדה זרימה תת-קולי בעבור גופים שונים</b></p> <p>הצבת גופים במנהרת רוח בתוספת עשן להמחשה ולתיאור תנועת האוויר סביב הגופים:</p> <p>1. הצבת גליל</p> <p>2. הצבת פרופיל בעל חתך אליפסה בזוויות התקפה שונות</p> <p>3. הצבת פרופיל אווירודינמי סימטרי בזוויות התקפה שונות</p>
4	<p><b>4 מדידות בדיפוזר</b></p> <p>1. מדידת לחצים בחתכים שונים של דיפוזר באמצעות מנומטר</p> <p>2. מדידת מהירויות בחתכים שונים של דיפוזר באמצעות צינור פיטו</p> <p>3. תיאור פרוס הלחצים והמהירויות בדיפוזר</p>
4	<p><b>5 מדידות בנחיר</b></p> <p>1. מדידת לחצים בחתכים שונים של הנחיר באמצעות מנומטר</p> <p>2. מדידת מהירויות בחתכים שונים של הנחיר באמצעות צינור פיטו</p> <p>3. תיאור פרוס הלחצים והמהירויות בנחיר</p>
4	<p><b>6 מדידת מקדם ההתנגדות בעבור גופים סימטריים שונים</b></p> <p>הצבת גופים סימטריים במנהרת רוח ומדידת מקדם ההתנגדות:</p> <p>1. כדורים בגדלים שונים</p> <p>2. פרופיל אווירודינמי סימטרי</p>
4	<p><b>7 מדידת מקדם העילוי בעבור פרופיל אווירודינמי</b></p> <p>1. הצבת פרופיל אווירודינמי סימטרי במנהרת רוח ומדידת מקדם העילוי בזוויות התקפה שונות</p> <p>2. תיאור גרפי של מקדם העילוי כפונקציה של זווית התקפה</p>
6	<p><b>8 סיור לימודי במכון מחקר (כגון הטכניון, רפא"ל)</b></p> <p>1. סיור במעבדות מחקר בתחום האווירודינמי</p> <p>2. הדגמות</p>

## ד. דרכי הוראה

המקצוע הוא מקצוע המשלב לימוד תיאורטי המלווה בהתנסות מעשית במעבדות. במסגרת הפעילות המעבדתית יהיה אפשר להמחיש, להציג ולהראות דגמים, תופעות ומוצגים המאפשרים הבנה טובה יותר של החומר הנלמד. הלימוד העיוני הוא פרונטלי, בכיתת לימוד במתכונת של הרצאה, מלווה בשקפים. כחלק מהלימוד 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 הניסויים ואת התצוגות הנדרשות. אפשר גם לשלב ביקור בבסיסי חיל האוויר או במעבדות הפקולטה לאווירונאוטיקה בטכניון על מנת לראות ולהתנסות.

## ה. מטלות עיקריות

### מטלות ביצוע (תרגילים לעבודה עצמית)

באמצעות תרגילים אלו יהיה אפשר להעריך את מידת הפנמת החומר אצל הסטודנטים ולבחון אם שיטת הלימוד היתה יעילה, או שמא החומר לא הובן והמטרות לא הושגו. באמצעות המטלות יהיה אפשר 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 הפנמת מידע אצל הסטודנטים וכן את יכולתם להשתמש במידע שקיבלו על מנת לפתור בעיות ברמה דומה או ברמה גבוהה יותר. באמצעות הבחנים והמבחנים יהיה 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% והוא יכלול שאלות מתומצתות בנושאים שונים שנלמדו.

## ו. רשימת מושגים ומילות מפתח

תכנית הלימודים "אווירודינמיקה" לכיתות י"ד עוסקת בהסברת עקרונות היציבות והניהוג של כלי טיס וכן בעקרונות הזרימה הדחיסה ובעקבותיה אווירודינמיקה בסיסית של כלי טיס הטסים במספרי מאך גבוהים. התכנית נחלקת לשני חלקים. עניינה בהכרת הכוחות והמומנטים האווירודינמיים שיוצרים הרכיבים השונים המרכיבים את המטוס, הכרה בתנועות שהם

מחוללים וכיצד אפשר לשלוט עליהם. התכנית עוסקת ביציבות המטוס ובהכרה של מגבלות המטוס.

הסטודנטים מתוודעים אל עקרונות הזרימה דחיסה, קונוסי מאך, גלי הים, מניפות התפשטות טבלאות וגרפים המאפשרים חישובי אזורי זרימה שונים בזרימה על קולית. ועוד עוסקת התכנית בהכרת פרופילים אווירודינמיים ותצורות כנפיים על קוליים.

– מהירות הקול	– מרכז אווירודינמי	– צירי המטוס
– גלי דחיסה	– זווית הכוונה של כנף	– עלרוד
– מספר מאך	– זווית הכוונה של זנב	– גלגול
– משוואת הרציפות	– מומנט סביב המרכז	– סבסוב
– משוואת האנרגיה	– האווירודינמי	– מומנט עלרוד
– המשוואה האיזנטרופית	– זווית ה-downwash	– מומנט גלגול
– משוואת המצב	– גורם התיקון של הזנב האופקי	– מומנט סבסוב
– זרימה תת-קולית	– גורם התיקון של הזנב האנכי	– מקדם מומנט העלרוד
– זרימה קולית	– מרחק אל-ממדי	– מקדם מומנט הגלגול
– זרימה על קולית	– נפח הזנב האופקי	– מקדם מומנט הסבסוב
– גל מאך	– נפח הזנב האנכי	– יציבות סטטית בעלרוד(אורכית)
– גל הים אלכסוני	– הנקודה האחורית	– יציבות סטטית בסבסוב(כיוונית)
– גל הים מנותק	– הנקודה הניטרלית	– יציבות בגלגול(רוחבית)
– גל הים ניצב	– הנקודה הקדמית	– זווית ההחלקה
– מניפת התפשטות	– טיסה מקוזזת	– זווית הגה הגובה
– פרופיל סופר קריטי	– טיסה אסימטרית	– זווית הגה כיוון
– פרופיל יהלום	– זרימה דחיסה	– הגה גובה
– פרופיל דו טרפזי	– מהירות הקול	– מייצב גובה
– פרופיל שטוח	– מספר מאך	– הגה כיוון
– כנף משוכה	– המגבלה האחורית	– מייצב כיוון
– זווית המשיכה של הכנף	– המגבלה הקדמית	– מאזנות
– כנף דלתא	– מעטפת טיסה	– דיהאדרל
– חוק השטחים	– מעטפת עומסים	– מרכז הלחץ

## ז. ספרי לימוד מוסלצים

1. **אווירודינמיקה ומכניקת הטיס** – פרסומי הדרכה, המכללה הטכנולוגית, חיל האוויר.
2. יציבות כלי טיס – פרסומי הדרכה, בית הספר לטיסה חיל האוויר.
3. **דינמיקה של טיסה במהירויות גבוהות** – פרסומי הדרכה, בית הספר לטיסה חיל האוויר.

## ח. ביבליוגרפיה (מקורות נוספים)

1. Aerodynamics, Aeronautics, and Flight Mechanics. Barnes W.McCormick.
2. ד"ר אביר, דוד. (1964). **אווירודינמיקה**. צבא ההגנה לישראל, הוצאת "מערכות".
3. קירשנבלט, אלבר. (1975). **מכניקת הטיס: ביצועי מטוסים**. הוצאת מכלול, חיפה.
4. אינטרנט.