



משרד החינוך  
המינהל למדע ולטכנולוגיה

# תכנית לימודים

התמחות: **מערכות תעופה**

מקצוע: **תחזוקת כלי טיס**

כיתה: **י"ד**

תשס"ט 2009

# תחזוקת כלי טיס

שעות לימוד: 72 שעות עיוני, 36 התנסותי  
טרימסטרים: ג\*, ד, ה – עיוני + התנסותי  
דרישות קדם: אין  
מבחן חיצוני: אוירודינמיקה ומנועי מטוס ה, סמל שאלון 710933  
מעבדה במערכות תעופה ה, סמל שאלון 710936

## א. מבוא

### תפיסה רעיונית של התכנית (רציונל)

המקצוע "תחזוקת כלי טיס" במסגרת לימודי ההנדסאים נותן מענה לנושאים הקשורים להבנה טכנולוגית של תהליכים הן מן ההיבט ההנדסי והן מן היבט הייצור. הנדסאי מכונות המתמחה במערכות תעופה מחויב להכיר ולהבין את התהליכים השונים המשמשים בעת ביצוע תחזוקה של כלי הטיס. פעולת סיכוך למניעת שחיקה, פעולות צביעה וציפוי כדי להגן על חלקי מתכת מקורוזיה או מתופעות בלתי רצויות אחרות וכן טכנולוגיות שונות שבאמצעותן מחברים מתכות זו לזו חשובות ביותר. יש אפוא צורך להתמקד בהן ולהבינן היטב.

### דרכי הערכה

המקצוע "תחזוקת כלי טיס" הוא מקצוע הכולל תכנים תיאורטיים וכן התנסויות מעשיות במסגרת מעבדה. ההתנסויות המעבדתיות יסייעו לתלמידים בהבנת ובהפנמת החומר התיאורטי שלמדו. במהלך הלמידה וההוראה יינתנו לסטודנטים מטלות (תרגילים) ויערכו 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.

## ב. מטרות

1. להכיר לסטודנטים את טכנולוגיית הסיכוך ואת הפתרונות שהיא נותנת לבעיות שונות.
2. להכיר לסטודנטים שיטות שונות של ציפוי מתכות.
3. להשוות בין שיטות שונות של טכנולוגיות ציפוי וצביעה.
4. להכיר לסטודנטים שיטות שונות שבאמצעותן אפשר לבצע חיבור בין מתכות.
5. להכיר לסטודנטים את טכנולוגיות ההלחמה והריתוך ולהשוות ביניהן.

## ג. התכנים

### ■ לימודים עיוניים – כיתה י"ד

טרימסטר ג\*, ד, ה: 72 ש"ש

#### ראשי פרקים

שעות	נושאי הלימוד
20	1 סיכוך (לובריקציה)
24	2 צביעה וציפוי של מתכות
28	3 טכנולוגיות חיבור
<b>72</b>	<b>סה"כ</b>

## פירוט התכנים (הנושאים)

שעות	נושאי הלימוד	שבוע
<b>20</b> 2  2  6  4  6	<p style="text-align: center;"><b>סיכוך (לובריקציה)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ מבוא ללובריקציה וסיכוך: הצורך בסיכה, התופעות שאפשר למנוע</li> <li>■ סיווג של חומרי הסיכה על פי מקורם: חי, צומח, מינרל דוגמאות לחומרים שונים, מאפייניהם ותכונותיהם</li> <li>■ סיווג שיטות סיכוך: חיכוך שכבה-דקה ( thin-film friction), חיכוך הידרודינמי (fluid-film friction): מאפייני כל אחת מן השיטות, באילו מצבים משתמשים בכל שיטה</li> <li>■ תכונות המסכך לקבלת חיכוך מינימלי</li> <li>■ השימוש בחומרי סיכה: כללי, אופן שימוש בחומרי סיכה נוזליים, אופן השימוש בחומרי סיכה חצי מוצקים ומוצקים</li> </ul>	
<b>24</b> 1 1 2  4  2 2 2  2  2	<p style="text-align: center;"><b>צביעה וציפוי של מתכות</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ קורוזיה של מוצרי מתכת</li> <li>■ הצורך בצביעה ובציפוי של משטחי מתכת</li> <li>■ גיליון: הגדרה, סוגי גיליון, הצורך בגיליון, טכנולוגיות הגיליון השונות</li> <li>■ אלגון (אנודיזציה): הגדרה, השפעת האלגון על המתכת (מבנה הגבישים, טופוגרפיית פני השטח, עמידות בשיתוך)</li> <li>■ סוגים שונים של אלגון: טיטניום, אלומיניום</li> <li>■ אלגון ושיקולים מכניים</li> <li>■ תהליכים שונים של ציפוי וצביעה:                         <ol style="list-style-type: none"> <li>1. תהליך אנודיזציה גופריתנית ( Sulfuric Acid Anodizing )</li> </ol> </li> <li>■ שימושים ויישומים בתעשייה יתרונות וחסרונות של הטכנולוגיה</li> <li>■ 2. תהליך אנודיזציה כרומית ( Chromic Acid Anodizing ):</li> <li>■ שימושים ויישומים בתעשייה יתרונות וחסרונות של הטכנולוגיה.</li> <li>■ 3. תהליך אנודיזציה קשה (Hard Anodizing):</li> </ul>	

שעות	נושאי הלימוד	שבוע
2	שימושים ויישומים בתעשייה יתרונות וחסרונות של הטכנולוגיה.	
2	4. תהליך פסיבציה לסגסוגות פלבם וטיטניום שימושים ויישומים בתעשייה יתרונות וחסרונות של הטכנולוגיה 5. צביעה	
2	שימושים ויישומים בתעשייה יתרונות וחסרונות של הטכנולוגיה ■ השוואה בין התהליכים השונים	
<b>28</b>	<b>תהליכי חיבור</b>	
1	■ מבוא: סיווג של שיטות חיבור, מושגים בסיסיים, שימוש בתעשייה, הכרת סימוני ריתוך	
2	■ הלחמה: שיטות ההלחמה, חומרי הלחמה, סוגים שונים של הלחמות, חומרים המשמשים למילוי (filler)	
1	■ ריתוך (Welding) - הגדרה, הצורך בריתוך	
1	■ הציוד הבסיסי ואביזרי עזר של הרתך: אביזרי ריתוך, הקשת החשמלית	
1	■ סיווג ריתוך לפי קבוצות: 1. קבוצה תרמית 2. קבוצה תרמו-מכנית 3. קבוצה מכנית ■ צורות ריתוך:	
2	1. ריתוך באמצעות קשת חשמלית (Shielded Metal Arc Welding – SMAW). מאפייני השיטה, שימוש, יתרונות וחסרונות	
2	2. ריתוך באמצעות אלקטרודת טונגסטן (Tungsten Inert Gas – TIG). מאפייני השיטה, שימוש, יתרונות וחסרונות	
2	3. ריתוך באמצעות אלקטרודת מתכת (Metal Inert Gas – MIG). מאפייני השיטה, שימוש, יתרונות וחסרונות	
2	4. ריתוך באמצעות קרן אלקטרונים (Electron Beam Welding – EBW). מאפייני השיטה, שימוש, יתרונות וחסרונות	
2	5. ריתוך באמצעות קרן לייזר (Laser Beam Welding – LBW). מאפייני השיטה,	

שעות	נושאי הלימוד	שבוע
2	שימוש, יתרונות וחסרונות 6. ריתוך באמצעות חיכוך (Friction Welding – FW). מאפייני השיטה, שימוש, יתרונות וחסרונות	
2	7. ריתוך נקודתי (Spot Welding – SW). מאפייני השיטה, שימוש, יתרונות וחסרונות	
1	■ שימושי ריתוך בתעשייה ובתעופה	
1	■ גורמים המשפיעים על הריתוך	
1	■ בעיות שעלולות להיווצר בפעולת הריתוך	
1	■ ביקורת טיב תפרי ריתוך: בדיקות מכניות, בדיקות אל- הרס, עיוותים המופיעים בעצמים מרותכים והדרכים למניעתם בריתוך	
2	■ דבקים: סוגי דבקים, דבקי ממש (פוליאורתן, פולי-אמיד, פוליאסטר) - מאפיינים ושימושים. דבקים מקשים (אקרילי, אפוקסי) – מאפיינים ושימושים. דבקי סיליקון – מאפיינים ושימושים	
2	■ חיבור קרמי: חיבור בין קרמיקה למתכת, חיבור בין קרמיקה לקרמיקה, שיקולים תרמו-כימיים	
72	סה"כ	

## ■ 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
12	1 סיכוך (לובריקציה) – השפעת פעולת הסיכוך על החיכוך ומהירות התנועה של חלקים נעים
12	2 צביעה וציפוי של מתכות – השפעת צביעה וציפוי מתכות על תופעות קורוזיה וחלודה
12	3 שיטות חיבור – התנסות בריתוך והלחמה וההבדלים ביניהם
<b>36</b>	<b>סה"כ</b>

### פירוט התכנים (הנושאים)

שעות	נושאי הלימוד
12	<p><b>1 סיכוך (לובריקציה) – השפעת פעולת הסיכוך על החיכוך ומהירות התנועה של חלקים נעים</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ מבוא לסיכוך</li> <li>■ הצגת חומרי סיכה מסוגים שונים וממשפחות שונות (נוזליים, חצי-מוצקים, מוצקים)</li> <li>■ משיכת בחומרי סיכה מסוגים שונים לחלקים שונים (מיסבים, שרשראות, טבעות מסתובבות במהירות, חלקים המצויים תחת העמסה גדולה וכו')</li> <li>■ בדיקת השפעת הסיכוך על החיכוך, מהירות התנועה</li> </ul>
12	<p><b>2 צביעה וציפוי של מתכות השפעת צביעה וציפוי מתכות על תופעות קורוזיה וחלודה</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ חזרה על מושגים ונושאים הקשורים בציפוי ובצביעת מתכות: אלגון, גילון</li> <li>■ המחשת תהליך התחמצנות (חלודה, קורוזיה וכו') על גבי מתכות. מתן הסברים לגבי הגורמים והסיבות לתופעה</li> <li>■ לקיחת מתכות זהות לקודמות וציפויין בחומרים שונים (בהתאם לנלמד)</li> </ul>

שעות	נושאי הלימוד	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ בדיקה האם במצב החדש שוב מתקבלות התופעות של החלדה, קורוזיה וכדומה</li> <li>■ מתן הסברים לגבי התופעות הנמנעות עקב הציפוי והצביעה</li> <li>■ הגורמים המשפיעים על הציפוי ועל תכונות המתכות</li> </ul>	
12	<p><b>שיטות חיבור - התנסות בריתוך והלחמה וההבדלים ביניהם</b></p> <p>ריתוך והלחמה:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ דיון וחזרה על נושאי ההלחמה והריתוך כולל התייחסות למושגים ולסימנים בריתוך</li> <li>■ הקראת הוראות בטיחות במעבדה</li> <li>■ הדגמת אופן ביצוע ריתוך (מכל אחד מהסוגים שנלמדו)</li> <li>■ ביצוע ריתוכים מסוגים שונים על ידי התלמידים</li> <li>■ הדגמת אופן ביצוע הלחמות של שתי מתכות באמצעות חומרי הלחמה שונים</li> <li>■ ביצוע הלחמות באמצעות חומרי הלחמה שונים על ידי התלמידים</li> <li>■ השוואה בין תהליך הריתוך ותהליך ההלחמה</li> <li>■ מתן הסברים לשוני בין שתי השיטות, מתי משתמשים בכל שיטה?</li> </ul>	3
36	סה"כ	

## ד. דרכי הוראה

המקצוע משלב לימוד תיאורטי והתנסות מעשית במעבדות ייעודיות. במסגרת השיעורים העיוניים הלימוד הוא פרונטלי במתכונת הרצאה. יש להקפיד להיעזר בהמחשות, בשקפים ואף לחלק לתלמידים דפי עזר הכוללים טבלאות, גרפים ותמונות להמחשה. במסגרת הפעילות המעבדתית יתרגלו הסטודנטים ויישמו את העקרונות וכן יבצעו ניסויים הממחישים את התיאוריות שלמדו והכירו. במסגרת המעבדות יש חשיבות לכך שהמעבדות יהיו מאובזרות ומצוידות בציוד הנדרש להשלמת הניסויים הרלוונטיים.

## ה. מטלות עיקריות



## מטלות ביצוע (תרגילים לעבודה עצמית)

באמצעות תרגילים אלו יהיה אפשר להעריך את יכולת 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 כדי שיוכלו לפתור בעיות ברמה דומה או ברמה גבוהה יותר. באמצעות הבחנים והמבחנים יהיה אפשר להעריך האם 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.

## דוחות מעבדה

מטרתם לבדוק את מידת ההבנה ושיתוף הפעולה של הסטודנט בשיעור ההתנסות והאם תהליך הניסוי ואופן ביצועו היו ברורים לו. דוח המעבדה יכלול את כל הנתונים והתוצאות שנתקבלו במהלך הניסוי וכן את מהלך הניסוי, השערות בנוגע לתוצאות צפויות, חישובים (במידת הצורך), רקע תיאורטי לתופעות נחקרות וכמובן מסקנות שאפשר להסיק מעצם ביצוע הניסוי. טרם ביצוע הניסוי יישאלו הסטודנטים כמה שאלות רקע מקדימות לבחון את מידת הבנת החומר. סטודנטים שלא יראו הבנה מספקת לא יורשו לגשת לניסוי. הציון ישוקלל על סמך תוצאות המבדק הראשוני, ביצוע הניסוי במעבדה והדוח שהוגש על ידי הסטודנטים.

## 1. רשימת מושגים ומילות מפתח

– ריתוך באמצעות אלקטרודת מתכת	– פסיבציה לסגסוגות פלבם וטיטניום	– לובריקציה
– ריתוך באמצעות קרן אלקטרוניים	– צביעה	– סיכוך
– ריתוך באמצעות קרן לייזר	– תהליכי חיבור	– גיליון
– ריתוך באמצעות חיכוך	– הלחמה	– אפוקסי
– ריתוך נקודתי	– חומר ריתוך	– דבקים
– פוליאורטן	– ריתוך	– אלגון
	– ריתוך באמצעות קשת חשמלית	– אנודיז
		– אנודיזציה גופריתנית
		– אנודיזציה כרומית

– דבקי ממס	– ריתוך באמצעות אלקטרודת טונגסטן	– אנודיזציה קשה
------------	-------------------------------------	-----------------

## ז. ספרי לימוד מומלצים

1. תחזוקת מכונות - פרקי מכונות ותחזוקתם, חלק א', הוצאת "מאה", תל-אביב.

## ח. ביבליוגרפיה (מקורות נוספים)

1. נוימן, י' (2007). ריתוך מבנים באלקטרודה מצופה, הוצאת "מאה", תל-אביב.
2. Kalpakjian, S. and Schmid, S.R., "*Manufacturing Engineering and Technology*", 4th ed., Prentice-Hall, N.J., 2001.
3. Todd, Robert H., Alen, Dell K., Alting, Leo, "*Manufacturing Processes Reference Guide*", Industrial Press Inc., 1994.
4. Dieter G. E., "*Mechanical Metallurgy*", McGraw-Hill, 1988.
5. DeGarmo E. P, "*Materials and Processes in Manufacturing*", John Wiley & Sons, 1999.
6. Callister, W.D., "*Materials Science and Engineering: an Introduction*", John Wiley & Sons, 1999.