



מה"ט – המכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

## תוכנית לימודים הנדסת מכונות - מכטרוניקה

ספטמבר 2019

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

הדו"ח מציג את המגמות הנבחרות בסטטוס המבוקש וכן את רשימת מקצועות הלימוד ,  
שעות הלימוד והבחינות למגמות אלה .

הערה חשובה: דף האוגדן משקף את מקצועות הלימוד והבחינות כפי שיופיעו בתעודה .  
הדו"ח מכיל את הנתונים בהתאם למפורט להלן :

ענף : 20 הנדסת מכונות

מסלול : 80 הנדסאים - בוקר-מה"ט

מגמה : 2019 הנדסת מכונות- מכטרוניקה

סטטוס מהדורה : מאושרת

מהדורה : 07/2019

22/09/2019 תאריך הפקה:  
 R147 : דו"ח מספר  
 2 : דף מספר

## אוגדן מערכת שעות מה"ט

מ.מוסדר: 2019 הנדסת מכונות- מכטרוניקה

ענף : 20 הנדסת מכונות

מגמה : 2019 הנדסת מכונות- מכטרוניקה

מסלול : 80 הנדסאים - בוקר-מה"ט

מהדורה : 07/2019 סטטוס : מאושרת

כיתה א | כיתה ב | כיתה ג | כיתה ד

סה"כ שעות	שעות מעשי	שעות עיוני	שם מקצוע לימוד	סה"כ שעות						
112								112	מתמטיקה	3855
64								64	אנגלית טכנית	4528
64								64	תורת החומרים	3863
16							16		מעבדת חומרים	13779
128					48		80		גרפיקה הנדסית (סיב"מ)	3974
128						32		96	מכניקה טכנית	3975
96								96	חוזק חומרים	3862
16							16		מעבדת חוזק חומרים	13780
128						128			חלקי מכונות	1125
64								64	מערכות הידראוליות ופנאומטיות	3860
64								64	מעבדה בהידראוליקה ופנאומטיקה	13801
80								80	מבוא לחשמל	6363
32								32	מעבדה במבוא לחשמל	13782
64						32		32	מערכות ספרתיות	4022
32					32				מבוא לתכנות	13783
96								96	רכיבים ומתמרים	4090
32					32				מעבדה ברכיבים ומתמרים	3969
96								96	מערכות בקרה	3961
32					32				מעבדה במערכות בקרה	3970
96					64			32	בקרים מתוכנתים ומערכות ממשק	13802
48					48				רובטיקה ומערכות בקרת תנועה	13784
32								32	הינע חשמלי	4028
32					32				מעבדה בהינע חשמלי	13785
64								64	אלקטרוניקה ואלקטרוניקה תעשייתית	13786
32					32				מעבדה באלקטרוניקה	3968
48					48				תיכון מערכות מכטרוניות	13787
304					304				פרויקט גמר/התנסות מעשית	13800
2000					672	480	240	608	סה"כ שעות :	

22/09/2019 תאריך הפקה:  
R147 דו"ח מספר :  
3 דף מספר :

## אוגדן מערכת שעות מה"ט

מ.מוסדר:

ענף : 20 הנדסת מכונות

מגמה : 2019 הנדסת מכונות- מכטרוניקה

מסלול : 80 הנדסאים - בוקר-מה"ט

מהדורה : 07/2019 סטטוס : מאושרת

כיתה א | כיתה ב | כיתה ג | כיתה ד

שעות	שעות	שעות	שעות	שעות	שעות	שעות	שעות	שעות	שם מקצוע לימוד
עיוני	מעשי	עיוני	מעשי	עיוני	מעשי	עיוני	מעשי	עיוני	

### בחינות

97001	יסודות המכניקה
97003	מכטרוניקה

22/09/2019 תאריך הפקה:  
R147 דו"ח מספר :  
3 דף מספר :

## רשימת בחינות במסלול 80 הנדסאים - בוקר-מה"ט

ענף : 20 הנדסת מכונות

מגמה : 2019 הנדסת מכונות- מכטרוניקה

מהדורה : 07/2019

ציון עובר	סוג בחינה	בחינה	
55	עיוני	מכטרוניקה	97003
55	עיוני	יסודות המכניקה	97001

הדו"ח מציג את המגמות הנבחרות בסטטוס המבוקש וכן את רשימת מקצועות הלימוד ,  
שעות הלימוד והבחינות למגמות אלה .  
הערה חשובה: דף האוגדן משקף את מקצועות הלימוד והבחינות כפי שיופיעו בתעודה .  
הדו"ח מכיל את הנתונים בהתאם למפורט להלן :  
ענף : 20 הנדסת מכונות  
מסלול : 90 הנדסאים משולב-מה"ט  
מגמה : 2019 הנדסת מכונות- מכטרוניקה  
סטטוס מהדורה : מאושרת  
מהדורה : 07/2019

21/11/2019 תאריך הפקה:  
 R147 דו"ח מספר :  
 2 דף מספר :

**אוגדן מערכת שעות מה"ט**

מ.מוסדר: 2019 הנדסת מכונות- מכטרוניקה

ענף : 20 הנדסת מכונות

מגמה : 2019 הנדסת מכונות- מכטרוניקה

מסלול : 90 הנדסאים משולב-מה"ט

מהדורה : 07/2019 סטטוס : מאושרת

כיתה א | כיתה ב | כיתה ג | כיתה ד

סה"כ שעות	חובה	שעות מעשי	שעות עיוני	שם מקצוע לימוד	סה"כ שעות						
112	X								112	מתמטיקה	3855
64	X								64	אנגלית טכנית	4528
64	X								64	תורת החומרים	3863
16	X					16				מעבדת חומרים	13779
128	X			32		32		64		גרפיקה הנדסית (סיב"מ)	3974
128	X						32		96	מכניקה טכנית	3975
96	X						32		64	חוזק חומרים	3862
16	X					16				מעבדת חוזק חומרים	13780
128	X				64		64			חלקי מכונות	3866
64							16		48	מערכות הידראוליות ופנאומטיות	3860
64						32		32		מעבדה בהידראוליקה ופנאומטיקה	13801
80	X						80			מבוא לחשמל	6363
32	X						32			מעבדה במבוא לחשמל	13782
64	X						32		32	מערכות ספרתיות	4022
32							32			מבוא לתכנות	13783
96	X				96					רכיבים ומתמרים	4090
32	X			32						מעבדה ברכיבים ומתמרים	3969
96	X				64		32			מערכות בקרה	3961
32	X			32						מעבדה במערכות בקרה	3970
96	X						96			בקרים מתוכנתים ומערכות ממשק	13802
48				16			32			רובטיקה ומערכות בקרת תנועה	13784
32					32					הינע חשמלי	4028
32				32						מעבדה בהינע חשמלי	13785
64					64					אלקטרוניקה ואלקטרוניקה תעשייתית	13786
32				32						מעבדה באלקטרוניקה	3968
48				48						תיכון מערכות מכטרוניות	13787
304	X				304					פרויקט גמר/התנסות מעשית	13800
										יסודות המכניקה	13890

2000 224 624 288 288 96 480 : סה"כ שעות

21/11/2019 תאריך הפקה:  
R147 דו"ח מספר :  
3 דף מספר :

## אוגדן מערכת שעות מה"ט

מ.מוסדר:

ענף : 20 הנדסת מכונות  
מגמה : 2019 הנדסת מכונות- מכטרוניקה  
מסלול : 90 הנדסאים משולב-מה"ט  
מהדורה : 07/2019 סטטוס : מאושרת

כיתה א | כיתה ב | כיתה ג | כיתה ד

שעות	שעות	שעות	שעות	שעות	שעות	שעות	שעות	שעות	שעות	שם מקצוע לימוד
עיוני	מעשי	עיוני	מעשי	עיוני	מעשי	עיוני	מעשי	עיוני	מעשי	
סה"כ	שעות	שעות	שעות	שעות	שעות	שעות	שעות	שעות	שעות	סה"כ
שעות	חובה	מעשי	עיוני	מעשי	עיוני	מעשי	עיוני	מעשי	עיוני	שעות

### בחינות

97001 יסודות המכניקה  
97003 מכטרוניקה

21/11/2019 תאריך הפקה:  
R147 דו"ח מספר :  
3 דף מספר :

## רשימת בחינות במסלול 90 הנדסאים משולב-מה"ט

ענף : 20 הנדסת מכונות

מגמה : 2019 הנדסת מכונות- מכטרוניקה

מהדורה : 07/2019

ציון עובר	סוג בחינה	בחינה	
55	עיוני	יסודות המכניקה	97001
55	עיוני	מכטרוניקה	97003

## מתמטיקה

64 שעות  
48 שעות

סמסטר א'  
סמסטר ב'

112 שעות

סה"כ

### ראשי פרקים

16 ש'	חזרות על יסודות האלגברה
18 ש'	טריגונומטריה
28 ש'	נגזרות
28 ש'	אינטגרלים
10 ש'	משוואות דיפרנציאליות
12 ש'	התמרות לפלאס

### הקדמה ומטרות

מקצוע המתמטיקה מהווה בסיס ורקע שימושי עבור מספר מקצועות טכנולוגיים הנלמדים במגמת מכונות בהתמחות מכטרוניקה. מקצועות כמו מכניקה טכנית, חוזק חומרים, מבוא לחשמל והידראוליקה, הנלמדים בשנת הלימודים הראשונה נעזרים ברקע מתמטי זה. מקצועות התמחות, הנלמדים בשנה השנייה מחייבים העמקה ביסודות המתמטיקה. לימוד תורת הבקרה לדוגמה, מחייב שימוש בכלים כמו התמרות לאפלאס, נגזרות ואינטגרלים, עליהם יושם דגש בעיקר בסמסטר השני. התכנית נכתבה בהתאם לצרכי ההוראה של המקצועות הטכנולוגיים, ובתאום עם המורים לתחומי טכנולוגיה אלה.

הצעה לחלוקת הקורס לשני סמסטרים במהלך שנה"ל הראשונה, כמו חלוקת שעות בין נושאי לימוד שונים היא בגדר המלצה, ולפיכך היקף שעות לימוד בכל נושא שבתכנית הלימודים ייקבע ע"י המורה המלמד.

התכנית בנויה מתוך הנחה שרוב הנושאים הבסיסיים במתמטיקה נלמדו כבר ע"י הסטודנטים בעבר בתיכון.  
דגש יושם על שימוש במחשבון כיס כדי לפתור בעיות.

מטרת לימוד המתמטיקה היא להקנות לסטודנטים הלומדים לתואר הנדסאי מכטרוניקה את הכלים המתמטיים הדרושים להם בלימודיהם ובעבודתם העתידית כהנדסאים.

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

### מתודולוגיית למידה

1. לימוד פרונטלי של נושאים במתמטיקה בשילוב הבאת דוגמאות מעשיות רלוונטיות לקשר עם נושאי לימוד במקצועות הטכנולוגיים.
2. שימוש נרחב במחשבון כיס ככלי לקיצור שלבי הפתרון.
3. שילוב של לימוד נושאים תיאורטיים עם פתרון תרגילים, בדגש על תרגילים ביישום נושאי מתמטיקה בתחומי טכנולוגיה במכונות.
4. מתן שיעורי תגבור במתמטיקה בקבוצות קטנות בשיטת חונכות.

### תפוקות למידה

- עם סיום הקורס הסטודנט :
1. יבצע חישובים מתמטיים הנדרשים למקצועות הטכנולוגיים הנלמדים במסגרת תכנית הלימודים.
  2. יכיר טכניקות מתמטיות עיקריות ושימושיות ויישם אותן בפתרון בעיות טכנולוגיות שונות.

### מיומנויות

1. יכולת פתרון בעיות.
2. יכולת ניתוח תוצאות.
3. יכולת עבודה עצמית.
4. יכולת עבודה בצוות.

### פירוט נושאים:

16 ש'

#### 1. חזרה על יסודות האלגברה

- 1.1 משוואות ממעלה ראשונה
- 1.2 משוואות ממעלה שניה
- 1.3 מערכות משוואות ממעלה ראשונה ושניה בשניים ושלושה נעלמים
- 1.4 שינוי נושא בנוסחה
- 1.5 חוקי חזקות.
- 1.6 נוסחאות כפל מקוצר.
- 1.7 פונקציה מעריכית ופונקציה לוגריתמית ותיאורן הגרפי
- 1.8 משוואת הקו הישר: שיפוע, הקבלה וניצבות

18 ש'

#### 2. טריגונומטריה

- 2.1 הפונקציות הטריגונומטריות ותיאורן הגרפי, מחזוריות.
- 2.2 משפט סינוס וקוסינוס
- 2.3 התרת משולשים, מרובעים, מעגל
- 2.4 שטחים של צורות במישור
- 2.5 טריגונומטריה במרחב – שטחים ונפחים.

28 ש'

### 3. נגזרות

- 3.1 נגזרות של פונקציות אלגבריות
- 3.2 חוקי גזירה עבור סכום, מכפלה, מנה וחזקה של פונקציות
- 3.3 נגזרות של פונקציות מורכבות
- 3.4 המספר  $e$  והפונקציה  $\ln x, e^x$ .
- 3.5 נגזרות של פונקציות לוגריתמיות ומעריכיות.
- 3.6 שימושי נגזרת (שיפוע, קיצון, תחומי עלייה וירידה)

28 ש'

### 4. אינטגרלים

- 4.1 אינטגרלים מידיים (כל הפונקציות)
- 4.2 אינטגרלים מסוימים
- 4.3 חישוב שטח שבין פונקציה לציר ה- $x$  ובין שתי פונקציות
- 4.4 חישוב נפחים של גופי סיבוב
- 4.5 חישוב קואורדינטות מרכזי הכובד של צורות מישוריות וגופי סיבוב
- 4.6 חישובי מומנט אינרציה.

10 ש'

### 5. משוואות דיפרנציאליות

- 5.1 מושגי יסוד
- 5.2 משוואות לינאריות מסדר ראשון
- 5.3 משוואות עם מקדמים קבועים

12 ש'

### 5. התמרות לפלאס

- 4.1 הגדרת התמרת לפלאס ושימושיה.
- 4.2 חישוב התמרת לפלאס של פונקציות בסיסיות.
- 4.3 פתרון משוואות דיפרנציאליות בעזרת התמרת לפלאס.
- 4.4 חישוב נפחים של גופי סיבוב
- 4.5 חישוב קואורדינטות מרכזי הכובד של צורות מישוריות וגופי סיבוב

### ספרות עזר:

1. בני גורן. מתמטיקה (4 ו-5 י"ל). חלקים א' – ה'. הוצאת ב. גורן.
2. בן-ציון קון. אלגברה תיכונית. טריגונומטריה. חדו"א. תאוריה ותרגילים. הוצאת בק- ספרי לימוד.

## אנגלית טכנית

64 שעות

שנה א'

64 שעות

סה"כ

English for Practical Engineers Specializing in Mechatronics Engineering.

### 1. Introduction / goals

The following curriculum was composed for English teachers in the N.I.T.T educational programs for practical engineers in mechanical engineering. This course of study will include the four skills (reading, writing, speaking and listening) with focus on reading comprehension in order to meet the needs of reading professional magazines, manuals and data sheets. Emphasis should be placed on exposing students to up to date materials taken from the Internet or suitable professional magazines.

### 2. Pre-requisites and End of Course Requirements

Students specializing in mechanical engineering are expected to have satisfactorily completed a Bagrut examination in English or the equivalent. Students who have not accomplished this have to successfully complete a pre-practical engineering course within a year from the beginning of their studies.

Students should be given a final examination at the end of the course. This examination must reflect the requirements set in this curriculum. It is highly recommended that the final grade should not be based on test alone but on alternatives in assessment such as portfolios problem-solving and written or oral project presentation (individual or small group).

### 3 Aims and Objectives

Upon completion of the course students will be expected to:

- 3.1. Read a text accurately and fluently and extract the full meaning from a text.
- 3.2. Master the terminology employed in mechanical engineering and related fields such as electronics & electricity.
- 3.3. Acquire skills for use of various types of monolingual/bilingual dictionaries (non-technical as well as technical).
- 3.4. Understand the meaning of spoken texts (mainly the ability to follow a lecture or oral presentation).
- 3.5. Write short descriptions of systems, machines and various items as well as letters and reports (including the ability to send e-mails).

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

## 4 Subjects

### 4.1. Reading skills and strategies

Reading is to be regarded as the core of this course. The course should develop and reinforce the following reading comprehension skills:

- Prediction
- Guessing the meaning of words from context
- Skimming and scanning
- Locating main idea
- Identifying supporting details
- Distinguishing between fact and opinion, cause and effect, comparison and contrast.
- Reorganizing information using visual representations such as lists, columns, tables, matrices, tree diagrams and flow charts maps, plans, pictures and different kinds of graphs.
- Drawing conclusions based on the text.

### 4.2. Vocabulary

The vocabulary required in this course should include general lexical items, semi — technical and technical items. The technical and semi-technical vocabulary used in mechanical engineering magazines and data sheets should be given priority. However, it is recommended that these words be treated in the same manner as other lexical items (general lexical items). Emphasis should be placed on the contextualization and re-entry of all vocabulary items meant for active production. Student may be required to keep a bi-lingual glossary of new lexical items especially technical and semi-technical terms.

### 4.3. Grammar and Rhetorical Functions

The requirements in this field are aimed at improving the students' ability to read for comprehension. Under no circumstances should grammar become the focus of teaching. No grammar book should be used. Grammar and/or the teaching of discourse or rhetorical functions as distinct from meaning should derive from the written or oral texts used for reading or listening comprehension. Grammatical structures should be dealt with only when necessary for the comprehension of these texts and for carrying out language production tasks.

Recognition of the structures typical of text dealing with mechanical engineering is required:

- the noun (nominalization, compound nouns, quantifiers, relative pronouns).
- the verb (tenses, the imperative, passive voice, first condition, modals).
- the adjective and adverb
- articles (absence of articles in general statements with uncountable nouns).
- derivational affixation patterns.
- logical connectors (especially those denoting sequence, cause and effect relations, comparison and contrast, addition, summarizing and evaluation).

### 4.4. Speaking and Listening Skills

Students should be able to discuss the reading selection in class. These discussions should reflect their understanding of the text and allow them to express their opinion by relating to the general area under discussion.

General speaking skills should also be dealt with on a regular basis, including simple everyday conversation, common expressions and short oral presentations which have become very important in hi-tech today.

For this purpose, it is strongly recommended that classes be conducted in English, exposing students to various instructions, explanations, suggestions, etc.

#### **4.5. Writing Skills**

Students should be able to answer reading comprehension questions, complete sentences, tables and flow charts and write simple business letters, curriculum vitae, reports and e-mail.

#### **5. Assessment**

Assessment should be both qualitative and quantitative (formative and summative). Various methods of assessment should be employed as stated in section 2 of this syllabus. The criteria for assessment and end of year grade should be to the students.

#### **6. Methodological Recommendations**

##### **6.1. Study skills**

The methodology recommended is mostly that of the development of reading comprehension skills and strategies. For this purpose, it is imperative that teachers employ both process and product approaches to reading. Students should be made aware of the effectiveness of using study skills and learning strategies. Understanding these processes allows students to internalize the strategies and then transfer the abilities acquired to other texts and tasks.

##### **6.2. Learning tools**

The use of audio visual aids and computer programs is highly recommended, such as overhead projectors, films, video material and relevant software.

##### **6.3. Active learning**

It is highly recommended that teachers use a variety of methods such as simulations, problem solving, oral presentations, case studies, pair and group work in order to enable students to participate actively in the learning process, Emphasis should be put on task-based activities rather than on mechanical practice aiming at memorization. Teachers should require students to prepare an oral presentation or mini-project based on up-to-date materials such as the Internet, on line data bases, magazines and books in order to develop their competence in the language.

#### **Recommended Textbooks. Magazines and Internet Sites**

It is highly recommended that teachers use up - to - date materials taken from the following textbooks, magazines and web sites.

#### **Bibliography:**

Magazines:

- Machine Design
- Popular Mechanics
- Industrial Engineering
- Material Engineering

Websites:

- <https://www.howstuffworks.com/>
- <https://www.explainthatstuff.com/>

## מקצוע: תורת החומרים

שנה א'	64 שעות
סה"כ	<u>64 שעות</u>

### ראשי פרקים

1.	מבוא ומושגי יסוד	10 ש'
2.	תכונות מכניות של חומרים	12 ש'
3.	סגסוגות ברזל	12 ש'
4.	חמרן (אלומיניום) וסגסוגות חמרן	4 ש'
5.	נחשת וסגסוגות	2 ש'
6.	מטלורגיית אבקות	2 ש'
7.	חומרים פלסטיים	4 ש'
8.	טיפול תרמי	8 ש'
9.	שיתוך (קורוזיה)	2 ש'
10.	בחירת חומרים לפי דרישות	8 ש'

### הקדמה ומטרות

תורת החומרים הוא אחד ממקצועות היסוד בתחום הנדסת מכונות בכלל, ובתכנית הלימודים להכשרת הנדסאי מכונות. המקצוע מהווה בסיס תיאורטי ללימוד מקצועות טכנולוגיים אחרים, כגון "חוזק חומרים", "חלקי מכונות", תהליכי ייצור ועוד.

מטרות המקצוע "תורת החומרים" הן: להכיר את המבנה והתכונות של חומרים בשימוש הנדסי, ולהקנות לסטודנטים ידע וכלים מתאימים לבחירה נכונה של חומרים כשלב אינטגרלי והכרחי בתהליך של תכן מכאני ותהליך הייצור, תוך התחשבות בדרישות מכניות, טכנולוגיות וכלכליות.

### מתודולוגיית למידה

1. הרצאה פרונטלית בשילוב של ניסויים במעבדה.
2. שילוב מחשב ורשת האינטרנט להדגמת שימוש בחומרים שונים, ניסויים, כשלים של חומרים במנים מכניים ועוד.

## תורת החומרים

3. מתן שיעורי תגבור בקבוצות קטנות לסטודנטים מתקשים בשיטת חונכות.

### תפוקת למידה

עם סיום הקורס הסטודנט :

1. יכיר את החומרים השונים בשימוש הנדסי.
2. יכיר את התכונות המכניות, הטכנולוגיות ופיזיקליות של חומרים בשימוש הנדסי.
3. יבחר חומר מתאים לפי דרישות הנדסיות.

### מיומנויות

1. יכולת הבנת תיאוריה של חומרים ויישומה בעריכת ניסויים ובדיקות במעבדה.
2. יכולת הבנת תהליכים וניתוח תוצאות ניסוי.
3. יכולת עבודה עצמית.
4. יכולת הסקת מסקנות.

### פירוט נושאים

#### מבוא

1. **מבוא ומושגי יסוד.** 10 ש'
  - 1.1. מבוא למקצוע תורת החומרים. תכונות מכניות, פיזיקליות, טכנולוגיות של חומרים
  - 1.2. מבנה האטום, קשרים בין אטומים.
  - 1.3. טבלה מחזורית, סידור אטומים, קבוצות שונות של חומרים בטבלה מחזורית (מתכת, אל מתכת, מתכת למחצה)
  - 1.4. מבנה סריגי של חומרים. סוגי מבנים בסיסיים במתכות. פגמים במבנה. התמצקות של מתכת, מבנה גרעיני והשפעה על תכונות מכניות.
  - 1.5. דיאגרמת פאזות של תמיסה מוצקה, חוק מנוף
2. **תכונות מכניות של חומרים** 12 ש'
  - 2.1. חוזק: הגדרה של מאמץ, מעוות. חוק הוק, חוק יאנג. ניסוי מתיחה, עקומת מאמץ מעוות אופיינית לפלדה, לאלומיניום, תחום אלסטי, תחום פלסטי, נקודות חשובות בעקומת מאמץ מעוות. שבר פריץ, שבר משיך, הקשיית מעוותים, חזרה אלסטית..
  - 2.2. קשיות: הגדרה של קשיות, שיטות לבדיקת קשיות (ברינל, ויקרס, רוקוול, שור) השוואה בין בדיקות שונות.
  - 2.3. נגיפה: הגדרה של חוזק נגיפה, שיטת בדיקה (דגם צ'ארפי, דגם איזוד), השפעה של טמפרטורה על חוזק נגיפה.
  - 2.4. התעייפות: הגדרת עומס מחזורי ותופעת התעייפות, צורת הבדיקה, עקומת N-S, השפעה של מבנה סריגי על התעייפות
  - 2.5. זחילה: מנגנון זחילה, עקומת זחילה, השפעת טמפרטורה ומאמץ על קצב זחילה.
3. **סגסוגות ברזל (פלדות)** 12 ש'
  - 3.1. אלטרופיה של ברזל. שינוי מבנה ותכונות עם שינוי בטמפרטורה
  - 3.2. דיאגרמת ברזל – פחמן מבנים ופאזות כתלות באחוזי פחמן, נקודות חשובות בדיאגרמה (אוטקטית, אוטקטואידית).

## תורת החומרים

- 3.3. פלדות פחמניות ופלדות מסג: הרכבים, תכונות, שימוש, יסודות סגסוג.
- 3.4. פלדות בלתי מחלידות, הרכבים, תכונות.
- 3.5. יציקות ברזל: יציקה אפורה, לבנה, חשילה, נודולרית, תכונות ושימוש.
- 3.6. תקנים של פלדות: תקן אמריקאי SAE, תקן גרמני DIN.

### 4. חמרן (אלומיניום) 4 ש'י

- 4.1. מבנה, תכונות ושימוש של האלומיניום הטהור.
- 4.2. סגסוגות של אלומיניום ושימושיהן.

### 5. נחושת וסגסוגות 2 ש'י

- 5.1. מבנה, תכונות ושימוש של נחושת.
- 5.2. סגסוגות של נחושת ושימושיהן (פלז, ארד).

### 6. מטלורגיית אבקות 2 ש'י

- 6.1. תהליך הסנטור.
- 6.2. תכונות ושימושים של חומרים מסונטרים (מתק"ש לעיבוד שבבי, גלגלי שיניים).

### 7. חומרים פלסטיים 4 ש'י

- 7.1. מבנה ותכונות של חומר פלסטי
- 7.2. סיווג החומרים הפלסטיים (תרמופלסטי, תרמוסטי, אלסטומרים).
- 7.3. שימושים ושיטות ייצור של חומרים פלסטיים.

### 8. טיפול תרמי 8 ש'י

- 8.1. טיפול תרמי בפלדות- חיסום, הרפיה, ריפוי מלא, ריפוי מהיר, שחרור מאמצים.
- 8.2. טיפול תרמי באלומיניום- מנגנון הקשיית מתבדלים (זיקון), זיקון טבעי, זיקון מלאכותי.

### 9. שיתוך (קורוזיה) 2 ש'י

- 9.1. סוגי שיתוך – כימי, אלקטרוכימי, שיתוך מסיבות אחרות.
- 9.2. שיטות הגנה מפני קורוזיה- כיסוי בשכבת מגן, הגנה חשמלית, הגנה בין גבישית.

### 10. בחירת חומר לפי דרישות 8 ש'י

- 10.1. אופן בחירת חומרים- לפי תכונות, מידות, צד כלכלי של בחירת חומרים.
- 10.2. דוגמאות ותרגול.

#### ספרות עזר:

- 1. ד. אלון, ג. ברנדון, ש. נדיב, א. רוזן. מבוא להנדסת חומרים. הוצאת מכלול, 1974.
- 2. י. פישביין. הנדסת חומרים וטיפול תרמי. הוצאת אורט, 2010.
- 3. ש. לוי. פולימרים וחומרים פלסטיים. הוצאת קרונוברג ספרות מקצועית, 1995.

#### ספרות עזר באנגלית:

- 1. W. D. Callister – “Materials Science and Engineering an Introduction”,

NY: John Wiley & Sons, 7<sup>th</sup> edition, 2006.

## מעבדה בחומרים

שנה א'	16 שעות
סה"כ	16 שעות

### ראשי פרקים

1. הכרת המעבדה	1 שעות
2. כללי בטיחות במעבדה	1 שעות
3. ניסויים והדגמות בחומרים	14 שעות

### הקדמה ומטרות

מעבדה לחומרים מאפשרת לסטודנטים בהתמחות מכטרוניקה התנסות מעשית ברוב הנושאים התיאורטיים הנלמדים בקורס עיוני "תורת החומרים". במסגרת המעבדה יכירו סטודנטים לעומק את התכונות המכניות של מתכות, תוך ביצוע בדיקות וגם ע"י שימוש בכלי סימולציה בתוכנת Solid Works או תוכנות דומות וגם ובעזרת הדגמות של סרטונים (שניתן למצוא ברשת האינטרנט – (Google , You Tube) – מטרת המעבדה – לחזק את הידע והבנת הסטודנטים בתחום הנדסת החומרים, לתת ידעה בסיסית על תכונות מכניות ובחירה נכונה של חומר לייצור חלקי מכונות, תוך כדי שימוש בתקנים בין לאומיים. שיעורי המעבדה ייערכו במעבדה למכניקה בקבוצות של 15 סטודנטים לכל היותר.

בגמר כל ניסוי יגישו הסטודנטים דו"ח מפורט על מהלך הניסוי ותוצאותיו.

### מתודולוגיית למידה:

ביצוע סימולציות בעזרת תוכנת Solidworks (במעבדת מחשבים)  
צפייה מודרכת בסרטוני הדגמה.  
צפייה עצמית בסרטונים נוספים להרחבת הידע

### תפוקת למידה:

עם סיום הקורס במעבדה הסטודנט:

1. יפעיל וישתמש בציוד ובמכשור לבדיקת קשיות ובדיקה Jominey.
2. ינתח ויעבד תוצאות הבדיקות והניסויים.
3. יכין דו"ח מעבדה.
4. יקשור את הפעילות המעשית במעבדה עם החומר התיאורטי שלמד במסגרת קורס עיוני.

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

### מיומנויות

1. יכולת למידה עצמית
2. יכולת עבודה בצוות של קבוצות קטנות.
3. יכולת ניתוח תוצאות
4. יכולת כתיבה טכנית
5. יכולת חשיבה יצירתית.

### ציוד ומכשור הנדרשים להעברת הקורס במעבדה לחומרים\*:

- ✓ מכשירים לבדיקת קשיות חומרים לפי שיטת Rockwell, שיטת Brinel ושיטת Vickers, מכשיר לבדיקת חוזק לנגיפה.
- ✓ שימוש בכלי סימולציה של תוכנות Solid Works או תוכנות דומות להדגמה בדיקות למתיחה, פיתול וכפיפה
- ✓ מכשיר לשיטת Jominey לבדיקת כושר החיסום.
- ✓ מכונה לבדיקה חוזק לנגיפה
- ✓ חדר מחשבים לביצוע סימולציות בעזרת תוכנה Solid Works ולצפייה מודרכת בסרטונים להרחבת הידע.

\*הערות:

- א. ניתן להשתמש בציוד/מכשור חלופי העומד לרשות המכללה אשר מאפשר ביצוע בדיקות וניסויים לפי תכנית זו.

### פרוט התכנים (הנושאים והניסויים):

1. **הכרת המעבדה** 1 ש'  
שימוש ותפעול של ציוד ומכשור. הדגמות להפעלה ותפעול הציוד/מכשור.
2. **כללי בטיחות במעבדה** 1 ש'  
הגדרת הכללים, דיווח טכני על ניסויים ובדיקות במעבדה
3. **פירוט ניסויים ובדיקות\*\*** 14 ש'  
  - 3.1. **ניסוי בדיקת קשיות.**  
בדיקת קשיות בשיטות שונות (Vickers, Rockwell, Brinel) השוואה בין השיטות. יתרונות וחסרונות של כל שיטה
  - 3.2. **ניסוי בדיקת חוזק הנגיפה**  
בדיקת חוזק הנגיפה על חומרים שונים והשוואה בין התוצאות. קשר בין חוזק הנגיפה לבין מראה השבר
  - 3.3. **חשיפה לטיפולים טרמיים**  
חשיפה לטיפולי טרמיים בסיסיים (חיסום, נורמליזציה, ריפוי והרפיה) ע"י צפייה מודרכת בסרטונים ב YouTube & Google.

**3.4 ניסוי בדיקת כושר חיסום של פלדה (בדיקת Jominey)\*\*.**  
בדיקת כושר החיסום (Hardenability) בהתאם לתנאי החיסום,  
מידות וצורת החלק וסוג הפלדה.

**3.5 חשיפה לטיפולים טרמיים**  
חשיפה לטיפולי טרמיים של סגסוגות אלומיניום בעזרת סרטים  
מ- You Tube ו-Google . השפעת מסגים שונים לתכונות מכניות  
של סגסוגת אלומיניום אחרי טיפול תרמי (חיסום).  
חשיפה לטיפולי טרמיים של נחושת וסגסוגותיה בעזרת סרטים  
מ- You Tube ו-Google .  
השפעת מסגים שונים לתכונות נחושת. תכונות טכנולוגיות ושימוש בנחושת.

**3.6 חשיפה לחומרים מרוכבים**  
חשיפה לחומרים מרוכבים בעזרת סרטים מ- You Tube ו-Google .  
תכונות מכניות. שימוש בחומרים מרוכבים בתעשיית מטוסים, ספינות,  
רכבים וכו'.

**\*\* ניסויי רשות.** כל מכללה רשאית להחליף את ניסויי רשות בניסויים אחרים  
לבחירתה.

## גרפיקה הנדסית- סיב"מ

80 שעות  
48 שעות

שנה א'  
שנה ב'

128 שעות

סה"כ

### ראשי פרקים

4 שעות	1. מבוא
16 שעות	2. היטלים
16 שעות	3. חתכים
10 שעות	4. מידות
4 שעות	5. סמלים לתעשייה
18 שעות	6. מבוא להרכבות ולחלקי מכונות
34 שעות	7. סיב"מ בניית חלקים מכאניים
26 שעות	8. סיב"מ בניית הרכבות

### הקדמה ומטרות

המקצוע גרפיקה הנדסית הינו שפה טכנית ייחודית המאפשרת לבני האדם להעביר מידע טכני של רעיונות, עצמים ומתקנים, באופן שאפשר יהיה להבין אותם כהלכה, בצורה ברורה, מדויקת וחד משמעית, ואף ליישם אותם על ידי אנשים אחרים או על ידי מכונות.

הקורס יקנה ידע וניסיון רחבים בחוקי שפת הגרפיקה ההנדסית על מנת להבין ולדעת להעביר את המידע הטכני על פי תקנים ישראלים ובינלאומיים, על ידי קריאת תוכנם של סרטטים מכניים וביצועם באופן ידני ובאמצעות תוכנות מחשב.

### מתודולוגיית למידה:

במסגרת לימוד המקצוע ישולבו שיטות לימוד ייחודיות של גרפיקה הנדסית ידנית עם שימוש מורחב של מחשב ותוכנות סיב"מ כמו: Solidworks, Inventor, Autocad, Cadkey ואחרות. על צוותי סטודנטים יוטלו מטלות סרטוט בהדרכה צמודה של המורה בכיתה ולעבודה עצמאית בבית. בזמן הוראת הקורס יושם דגש על הדיוק הנדרש בביצוע הסרטטים, והקפדה על דרישות התקנים.

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

### תפוקת למידה:

- עם סיום הקורס בגרפיקה הנדסית הסטודנט:
1. יבין כל מידע המועבר באמצעות סרטוטים.
  2. ינתח את המידע הגלום בסרטוטים ויהיה מסוגל לבדוק את נכונותו מבחינה יישומית.
  3. יבקר עמידות הסרטוטים בחוקי השפה הטכנית תוך הכרת התקנים הקובעים את רזי המקצוע.
  4. יבטא רעיונות על חלקים או מתקנים מורכבים באמצעות סרטוטים באופן שכוונותיו יובנו כהלכה על ידי אחרים או על ידי מכוונות הנועדות לביצוע מעשי.

### מיומנויות:

1. יכולת למידה ועבודה עצמית.
2. יכולת ראייה וחשיבה תלת ממדית.
3. פיתוח הדמיון והחשיבה המופשטת.
4. שיפור דיוק ההתבטאות בכתב ובעל פה בהעברת מידע טכני.

### פרוט התכנים (הנושאים):

- |                |  |
|----------------|--|
| <b>4 ש'</b>    | <p><b>1. מבוא</b></p> <p>נהלים. כלי הסרטוט. מהות הסרטוט. תקנים בין לאומיים. תקנים ישראלים. סמל הזיהוי של תקן הסרטוט. גודל תקני של דפי הסרטוט. הכתב הטכני. סוגי קווים.</p>  |
| <b>16 שעות</b> | <p><b>2. היטלים</b></p> <p>2.1 עקרונות הסקיצות ( סרטוט ביד חופשית). חוקי ההטלה הניצבת. זיהוי רכיבים של חלקים: נקודות, קוים ומישורים. זיהוי רכיבים בין ההיטלים. סרטוט היטלים של גוף לפי מבט איזומטרי.</p> <p>2.2 זיהוי היטלים של מישורים משופעים. זיהוי היטלים של משטחים לא מישוריים (גליל, חרוט וכו'). אופן ההצגה של רכיבים גלויים ורכיבים נסתרים. הצגת פרט מוגדל. שבר: הצגה של עצמים מאורכים בעלי שטח חתך אחיד.</p> <p>2.3 סרטוט היטל שלישי לפי שני היטלים נתונים. סרטוט היטלים מכיוונים נוספים. סרטוט היטל שלישי משני היטלים נתונים ללא איזומטריה. השלמת רכיבים חסרים בשלושה היטלים ללא איזומטריה.</p> <p>2.4 סרטוט ברגים והברגות.</p> |

## 16 ש'

## 3. חתכים

3.1 מהות, סיבות ויתרונות של הצגת חלקים חתוכים.  
חתך ישר.

3.2 חתך מדורג.  
חתך מיושר (מסובב).  
חצי חתך - חצי מראה (חצי היטל).

3.3 חתך מקומי (במישור החתך עצמו).  
חתך חלקי.  
תיאור חריצי שגמים.  
תיאור שקעי מרכז.  
תיאור חריצי שחרור.  
תיאור גל כוכב.

3.4 חתך של חיזוקים, צלעות, גלים, סרנים וחלקים ללא תעלות פנימיות.  
חתך של חלקים דקים. חתך הברגות.

## 10 ש'

## 4. מידות

4.1 עקרונות של רישום מידות.

4.2 מידות תקניות.  
ההבדל בין מידות חובה, מידות רצויות, מידות לא רצויות ומידות אסורות.  
מידות למידע בלבד (Reference).

4.3 עקרונות של רישום המידות על פי מטרת הסרטוט: לתכנון, לייצור או לביקורת.

## 4 ש'

## 5. סמלים לתעשייה

5.1 דרגות דיוק. עקרונות של רישום סיבולות.  
מרקם משטחים (טיב פני שטח).  
מאפיינים של רכיבים גיאומטריים וקשרים בין רכיבים של חלק.  
מידות בסיס.

## 18 ש'

## 6. מבוא להרכבות ולחלקי מכונות

6.1 מאפיינים עיקריים של סרטוטי הרכבה.  
6.2 תיאור של ברגים, הברגות, אומים, טבעות, טבעות קפיציות.  
6.3 תיאור של גלגלי שיניים.  
6.4 תיאור של פינים, מסמרות, פין פציל, אטמים, מחזירי שמן.  
6.5 תיאור מסבים.  
6.6 הדגמה של בניית מודלים, קבלת היטלים, חתכים, סידור מידות.

34 ש'י

7. סיב"ם - בניית חלקים מכאניים

- 7.1 קביעת נהלים לסביבת עבודה.
  - הכנת סקיצות קוים, קשתות, מעגלים, אליפסות - .
  - מלבנים, חריצים, slots ( מצולעים).
  - אילוצים וקשרים בין רכיבים בסקיצה.
  - רישום מידות בסקיצה.
  - קשרים בין מידות הסקיצה. מידות פרמטריות.
- 7.2 בניית חלקים במשיכה.
  - הוספת נקודות, צירים ומישורי עזר.
  - בניית סקיצות במישורים לא גלויים לעין.
  - עריכת נתוני הסקיצה והמשיכה.
  - סקיצה משותפת לפעולות מורכבות.
- 7.3 בחירת חומרים וטקסטורות.
  - שילוב תמונות.
- 7.4 רישום מידות ישירות על המודל התלת ממדי.
  - רישום מאפיינים גיאומטריים וקשרים בין רכיבים של חלק, ישירות על המודל עצמו.
- 7.5 מאפיינים של גיליונות הסרטוט. שלט (שדה כותרת).
  - בניית היטלים מהמודלים.
  - יישום חוקי רישום המידות בהיטלים ובאיזומטריות.
  - רישום מרקם משטחים (טיב פני שטח), סיבולות מידה, סיבולות גיאומטריות.
- 7.6 חתך ישר, חתך מדורג, חתך מיושר (מסובב).
  - חצי חתך חצי מראה (חצי היטל -).
  - חתך מקומי (במישור החתך עצמו). חתך חלקי.
- 7.7 חתך חיזוקים וצלעות.
  - הצגת פרט מוגדל.
  - שבר: הצגה של עצמים מאורכים בעלי שטח חתך אחיד.
- 7.8 בנית גופי סיבוב. מדר והעגלות. יצירת חלקים חלולים.
- 7.9 יצירת חלקים מחתכים שונים. יצירת חלקים לפי חתך ומסלול.
  - שיקוע והבלטה של כתב וצורות שונות.
- 7.10 שכפול רכיבים. חיתוך חלקים. שיפועים.
- 7.11 קדחים והברגות. טבלאות קדחים.
- 7.12 חיזוקים. סלילים. מסלולים תלת ממדיים.
- 7.13 עיבוד פחים ופריסות. טבלת סדר ונתוני הכיפופים.
  - עקרונות לבניית חלקים אמורפיים (Freeform )
  - עקרונות לבניית חלקים באמצעות משטחים. עקרונות לבניית חלקים בהזרקה

## 26 ש'

## 8. סיב"ם - בניית הרכבות

- 8.1 שיטות לבניית הרכבות.  
שיטת ה . Bodies - קשרים בין חלקים .דרגות חופש .  
יצירת חלקים נפרדים ויצירת חלקים בסביבת ההרכבה עצמה.  
יצירת תלות בין רכיבים של חלקים שונים.  
תצוגות של מצבים שונים של המכלול.
- 8.2 ביקורת מרחקים .ביקורת מגע .ביקורת התנגשויות.  
מציאת מרכז כובד .בדיקת מומנטי אינרציה.
- 8.3 הרכבות ותת הרכבות.  
הרכבת ריתוך .הכנה חלקים לריתוך.  
עיבודים בסביבת ההרכבה.  
סרטוטי ההרכבה המרותכת וההכנות של החלקים לריתוך.
- 8.4 בניית קונסטרוקציות מפרופילים תקניים.
- 8.5 חלקים תקניים.  
חלקים מוכנים מתוך רשת ה- Internet.
- 8.6 שילוב תנועה של חלקים במנגנון.  
הנפשה של פעולת מנגנונים .הנפשה של פירוק והרכבה.  
הפקת סרטוטים וסרטונים.
- 8.7 יישום של עקרונות סרטוטי ההרכבה.  
היטלים וחתכים של הרכבות.  
מידות ההרכבות .אפיצויות .סימני ריתוך.  
מספור חלקים ורשימת חלקים .הדפסה על נייר .הדפסה תלת ממדית.

## מקורות

- ת"י 130 מידות הגיליון
- ת"י 135 אותיות ומספרים
- ת"י 162 עקרונות ההצגה
- ת"י 189 רישום מידות
- ת"י 192 שלטים וקנה מידה
- ת"י 193 תברייגים ,ברגים ואומים
- ת"י 241 תיאור גלגלי שיניים
- ת"י 780 סימון מרקם משטחים
- ת"י 865 רישום סיבולות קוויות וזוויתיות
- ת"י 1010 4 חלקים סיבולות של צורה ושל תנוחה
- ת"י 1061 תיאור סמלי של תפרי ריתוך
- תקן ISO 286
- תקן ISO 1101
- תקן ASMEY 14.5

**פרוט התכנים (הנושאים) :**

שעות	נושאי הלימוד
7	<p><b>1 מבוא למערכות בקרה ודיאגרמות מלבנים</b></p> <p>1.1 מושגי יסוד: מערכת, מערכת בקרה, אילוץ, תגובה, מערכת בקרה בחוג סגור. מתן דגש על משתני התהליך המבוקר: בקר, אלמנט בקרה סופי, תהליך, חיישן/מתמר.</p> <p>1.2 סימונים מוסכמים בדיאגרמת מלבנים: מלבן, חץ, נקודת צומת, נקודת סיכום.</p> <p>1.3 תיאור מערכות בקרה הפועלות בחוג סגור ובחוג פתוח בעזרת דיאגרמות מלבנים תוך מתן דגש על תפקידו של כל מלבן בתהליך המבוקר</p>

12	2	מערכות פיגור מסדר ראשון
	2.1	הגבר סטטי וקבוע הזמן כמאפיינים של פיגור מסדר ראשון.
	2.2	נוסחת תגובת פיגור מסדר ראשון לאילוץ מדרגה בזמן. תיאור גרפי של התגובה.
	2.3	מערכת לבקרת מפלס. תגובת מפלס וספיקה יוצאת לאילוץ בספיקה נכנסת
	2.4	מערכת לבקרת טמפרטורה ללא זרימה. תגובת טמפרטורה פנימית לשינוי בהספק החום ובטמפרטורת הסביבה.
	2.5	התמרת לפלס של פיגור מסדר ראשון לאילוץ מדרגה במבוא. הצגת צורה קונונית של פונקציית התמסורת במישור לפלס, הסבר על משמעות הצורה הקונונית.
14	3	מערכות פיגור מסדר שני
	3.1	מאפייני פיגור מסדר שני: הגבר סטטי, מקדם ריסון, תדר טבעי, תגובת יתר (overshoot), תדירות דינמית, זמני התייצבות
	3.2	מערכת המורכבת משני פיגורים מסדר ראשון בטור ניתוח כמותי במישור לפלס ניתוח איכותי במישור הזמן
	3.3	ניתוח מערכת פיזיקלית מסה קפיץ מרסן. תגובת תזוזה לאילוץ בהפעלת כוח.
	3.4	אנלוגיה חשמלית למערכת מסדר שני באמצעות מערכת סליל נגד קבל
	3.5	ניתוח גרף תגובה של מערכת מסדר שני במישור הזמן לאילוץ מדרגה מתן דגש על מקרה של תת ריסון הסבר על הגורמים האופייניים כגון: תגובת היתר, תגובה דינמית, זמני התייצבות

24	4	בקרים תעשייתיים
	4.1	משוואת בקר יחסי במישור הזמן ומישור לפלס

	תגובת פיגור מסדר ראשון עם בקר P.	4.2
	משוואת בקר אינטגרלי במישור הזמן ומישור לפלס משוואת בקר PI במישור הזמן ומישור לפלס	4.3
	תגובת פיגור מסדר ראשון עם בקר PI.	4.4
	משוואת בקר נגזרתי במישור הזמן ומישור לפלס משוואת בקר PD במישור הזמן ומישור לפלס משוואת בקר PID במישור הזמן ומישור לפלס	4.5
	תגובת פיגור מסדר ראשון עם בקר PID.	4.6
	תגובות בקרים לאילוצי מדרגה בחוג פתוח.	4.7
	תגובות בקרים לאילוצי שיפוע בחוג פתוח.	4.8

14	<b>5 מבוא ליציבות מערכות בקרה</b>	5
	5.1 ניתוח תגובת מערכת אינטגרטור המחובר בטור לפיגור מסדר שני עם בקרי PID.	5.1
	5.2 תיאור גרפי איכותני (לא כמותי) של תגובת מערכת זו שינוי משתני הבקר והשפעתם על תגובת המערכת.	5.2
	5.3 כניסות הולם ושיפוע למערכות בקרה. התמרת לפלס של אילוצים אלו.	5.3
	5.4 הגדרת קריטריון היציבות.	5.4
	5.5 משוואה אופיינית של מערכת	5.5
	5.6 מיקום השורשים כתנאי ליציבות	5.6
14	<b>6 קריטריון ראוט (Routh)</b>	6

	6.1	עקרונות לשימוש בקריטריון ראוט וטבלת ראוט
	6.2	ניתוח תחומי יציבות של מערכות שונות בעזרת קריטריון ראוט
	6.3	מציאת הגברים של בקר יחסי שעבורם המערכת יציבה
	6.4	בדיקת יציבות של מערכות בחוג פתוח בעזרת קריטריון ראוט
	6.5	שיפור יציבות מערכות בעזרת בקרים
<b>11</b>	<b>7</b>	<b>שגיאות במערכת הבקרה</b>
	7.1	תיאור כניסת מדרגה, ריצה ותאוצה
	7.2	קביעת סוג המערכת לפי מס' האינטגרטורים בחוג הפתוח
	7.3	חישוב שגיאת המצב המתמיד לפי מקדמי שגיאה ולפי סוג המערכת
	7.4	משפט הערך הסופי. חישוב שגיאה במצב מתמיד לפי משפט הערך הסופי

### ספרות עזר בעברית

1. קופייקיס מיכאל, מערכות בקרה דוגמאות ותרגילים הוצאת אורט.
2. בהיר זאב ולוי אבי, בקרת תהליכים, הוצאת אורט.
3. פויאר אריה, בקרה ליניארית, הוצאת האוניברסיטה הפתוחה.

96 שעות	שנה א'
32 שעות	שנה ב'
128 שעות	סה"כ

## ראשי פרקים

### שנה א' (חומר שמהווה חלק מהבחינה החיצונית ביסודות המכניקה) :

<b>68 ש'</b>	<b>סטטיקה 1</b>
10 ש'	1. מושגי יסוד. חוקים ואקסיומות של סטטיקה
9 ש'	2. מערכת כוחות משותפי נקודה
8 ש'	3. מערכת כוחות מקבילים
10 ש'	4. מערכת כוחות מישוריים – מקרה כללי
10 ש'	5. מסבכים מישוריים
10 ש'	6. מרכז הכובד
10 ש'	7. חיכוך
<b>28 ש'</b>	<b>דינמיקה 1</b>
18 ש'	8. תנועה של נקודה חומרית בקו ישר
6 ש'	9. תנועה של נקודה חומרית באוויר במסלול עקום
4 ש'	10. תנועה סיבובית של נקודה חומרית

### שנה ב' :

<b>32 ש'</b>	<b>דינמיקה 2</b>
4 ש'	11. בעיות בדינמיקה ושיטות למציאת פתרון
24 ש'	12. המשפטים הבסיסיים של הדינמיקה
4 ש'	13. משוואות דיפרנציאליות של תנועה (עקרונות בלבד)

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

## הקדמה ומטרות

מכניקה טכנית הינו מקצוע מרכזי ובסיסי בהכשרת הנדסאי וטכנאי מכוונות בכל ההתמחויות. הוא קשור קשר הדוק עם מקצועות טכנולוגיים אחרים, כגון חוזק חומרים וחלקי מכוונות אשר נלמדים במסגרת תכנית הלימודים ומהווה דרישת קדם ללימודים. במכניקה טכנית מבחינים בין שני חלקים עיקריים: סטטיקה ודינמיקה.

סטטיקה עוסקת בגוף הנמצא במנוחה. בדינמיקה דנים בגופים הנמצאים בתנועה. הדינמיקה עצמה מתחלקת לשני חלקים:

**קינמטיקה**: תיאור גאומטרי של תנועה, לימוד תכונות קינמטיות של התנועה (דרך, מהירות, תאוצה) בתלות בזמן. אין מתייחסות לכוחות הגורמים לתנועה.

**דינמיקה**: לימוד הקשר בין הכוחות הפועלים על הגוף לבין תנועה נגרמת עליהם. בחלק זה קובעים את תכונות הקינמטיות של התנועה, הנגרמת ע"י כוחות הידועים או מחפשים את כוחות הדרושים לביצוע תנועה ידועה.

מטרות המקצוע מכניקה טכנית: להכיר לעומק את חוקי תנועה של גופים מכניים ושיווי משקלם, תוך הקניית בסיס פיזיקלי ומתמטי מוצק ללימוד מקצועות טכנולוגיים אחרים בהתאם להתמחות המגמה, ותוך הקניית כלים ושיטות אנליטיות לפתרון בעיות מעשיות במערכות מכניות מהפשוטות ועד המתקדמות ביותר.

## מתודולוגיית למידה

1. הרצאה פרונטלית בשילוב של סימולציית מערכות מכניות ומתן פתרונות לבעיות מכניות תוך הצגתם בפני הסטודנטים.
2. שילוב מחשב ורשת האינטרנט לצפייה בסרטונים הממחישים את חלקו המעשי של החומר הנלמד.
3. לימוד בקבוצות קטנות למטרת פתרון בעיות ותרגילים.
4. מתן שיעורי תגבור בקבוצות קטנות לסטודנטים מתקשים בשיטת חונכות.
5. לימוד עצמי באמצעות אתר לימודים מקוונים GOOL: [www.gool.co.il](http://www.gool.co.il)

## תפוקות למידה

עם סיום הקורס הסטודנט:

1. יבחין בין חוקי המכניקה בהקשר לפתרונות מערכות מכניות שונות.
2. יחשב מערכות מכניות סטטיות ודינמיות.
3. ינתח תוצאות החישוב של מערכות מכניות.

## מיומנויות

1. יכולת חשיבה מתמטית ויצירתית.
2. יכולת הבנת מערכות ותהליכים.
3. יכולת פתרון בעיות.
4. יכולת עבודה עצמית.
5. יכולת עבודה בצוות.
6. יכולת ניתוח תוצאות.

## פירוט נושאי לימוד

### סטטיקה 1

#### 1. מושגי יסוד. חוקים ואקסיומות סטטיקה 10 ש'

- 1.1 הגדרות יסוד. מכניקה, פרקי מכניקה, נקודה חומרית, גוף קשיח, דפורמציה, שיווי משקל.
- 1.2 מערכות של יחידות במכניקה.
- 1.3 גורם פיסיקאלי סקלארי. גורם פיסיקלי ווקטורי. דוגמאות לסקלרים ווקטורים. ווקטור שקול.
- 1.4 כוח כווקטור. יחידות מדידה של כוח מערכת כוחות. חיבור כוחות בשיטה גרפית. חיבור כוחות בשיטה אנליטית. כוח שקול. פירוט כוחות לרכיבים בשיטה גרפית ובשיטה אנליטית.
- 1.5 חוקים ואקסיומות של סטטיקה. החוק הראשון של ניוטון. החוק השני של ניוטון. החוק השלישי של ניוטון. אקסיומות של סטטיקה.
- 1.6 סמכים במכניקה. סוגי סמכים. כוחות תגובה בסמכים. דיאגרמה של גוף קשיח (דג"ח).

#### 2. מערכת כוחות משותפי נקודה 9 ש'

- 2.1 הגדרת מערכת כוחות משותפי נקודה. כוח שקול של מערכת כוחות משותפי נקודה. דג"ח. תנאי לשיווי-משקל. משוואות שיווי משקל. פתרון מתמטי של מערכות כוחות משותפי נקודה.
- 2.2 גלגלת כאלמנט של מערכת מכנית. גלגלת קבועה. גלגלת נידת.
- 2.3 קפיץ כאלמנט של מערכת מכנית. קבוע הקפיץ. התארכות (התכווצות) של קפיץ מתיחה (לחיצה).

#### 3. מערכת כוחות מקבילים 8 ש'

- 3.1 מומנט של כוח כלפי נקודה במישור. יחידות מדידה של מומנט. מומנט חיובי. מומנט שלילי.
- 3.2 משפט מומנטים (משפט ואריניון). מומנט שקול.
- 3.3 חיבור שני כוחות מקבילים. כוח שקול של מערכת כוחות מקבילים.
- 3.4 זוג כוחות – מושגים והגדרות.
- 3.5 שיווי-משקל של מערכת כוחות מקבילים. משוואות שיווי משקל.
- 3.6 פתרון מתמטי של מערכות כוחות מקבילים.

#### 4 מערכת כוחות מישוריים – מקרה כללי 10 ש'

- 4.1 שיווי-משקל של מערכת כוחות מישוריים – מקרה כללי.
- 4.2 משוואות שיווי משקל.
- 4.3 פתרון מתמטי של מערכות כוחות – מקרה כללי.

- 11 ש' 5 מסבכים מישוריים**
- 5.1 מסבכים מכניים: מושגים כלליים. הנחות בפתרון מסבכים.
  - 5.2 פתרון מסבכים בשיטת הצומת.
  - 5.3 פתרון מסבכים בשיטת ריטר (חתכים).
  - 5.4 פתרון מתמטי של מערכות כוחות – מקרה כללי.

- 10 ש' 6 מרכז הכובד**
- 6.1 מרכז הכובד ומרכז המסה: הגדרות. קואורדינטות של מרכז הכובד.
  - 6.2 מרכז הכובד של צורות גיאומטריות פשוטות.
  - 6.3 מרכז הכובד של צורות גיאומטריות מורכבות.
  - 6.4 מרכז הכובד של גוף.
  - 6.5 דוגמאות חישוב.

- 10 ש' 7 חיכוך**
- 7.1 הגדרת חיכוך כתופעה פיסיקאלית. מושגי יסוד.
  - 7.2 חיכוך החלקה. חיכוך גלגולי (קינטי).
  - 7.3 מקדמי החיכוך סטטי וקינטי.
  - 7.4 זווית החיכוך והגדרתה.
  - 7.5 תנאי לעצירה עצמית בהחלקה על מישור משופע.
  - 7.6 פתרון מערכות מכניות עם חיכוך.

### דינמיקה 1

- 18 ש' 8. תנועה של נקודה חומרית בקו ישר**
- 8.1 הגדרות ומאפייני התנועה: מרחק, העתק, זמן, מיקום, מסלול, יחדות.
  - 8.2 מהירות התנועה בקו ישר. יחידות המהירות. מהירות כווקטור.
  - 8.3 תאוצה בתנועה על קו ישר. יחידות התאוצה. תאוצה כווקטור. תאוצת הכובד.
  - 8.4 תנועה קצובה על קו ישר. משוואות התנועה.
  - 8.5 תנועה מואצת (מואטת) על קו ישר. תנועה שוות תאוצה. משוואות תנועה שוות תאוצה.
  - 8.6 תנועת גוף (נקודה חומרית) באוויר. נפילה חופשית. משוואות התנועה בנפילה חופשית.
  - 8.7 תנועה בזריקה כלפי מטה. משוואות התנועה.
  - 8.8 תנועה בזריקה כלפי מעלה. משוואות הזריקה.
  - 8.9 פתרון בעיות תנועת נקודה חומרית על קו ישר.

- 6 ש' 9 תנועה של נקודה חומרית באוויר במסלול עקום**
- 9.1 תנועת נקודה חומרית באוויר בזריקה אופקית. הגדרות התנועה.
  - 9.2 משוואות התנועה בזריקה אופקית.
  - 9.3 תנועת נקודה חומרית בזריקה אלכסונית (משופעת). הגדרות התנועה.
  - 9.4 משוואות תנועת נקודה חומרית בזריקה אלכסונית.
  - 9.5 פתרון בעיות בתנועה במסלול עקום.

10. תנועה סיבובית של נקודה חומרית 4 ש'

- 10.1 הגדרות ומושגי יסוד בתנועה סיבובית.  
10.2 זווית סיבוב,  $\varphi$  מהירות זוויתית,  $\omega$  תדר סיבובים.  $n$   
יחידות מדידה. קשר בין  $\omega$  ל.  $n$  -  
10.3 תנועה סיבובית קצובה.  
10.4 תאוצה זוויתית.  $\varepsilon$  יחידות.  
10.5 מושג על תאוצה נורמאלית ותאוצה טנגנטית.  
10.6 משוואות תנועה סיבובית.

דינמיקה 2.

11. בעיות בדינמיקה ושיטות למציאת פתרון 4 שעות  
חוקי ניוטון. עיקרון סופרפוזיציה. מערכת מכנית. מרכז המסות.  
בעיה ישירה ובעיה הפוכה בדינמיקה

12. המשפטים הבסיסיים של הדינמיקה.

12.1 משפטים בסיסיים 2 שעות

- 12.2 משפט שינוי האנרגיה הקינטית וחוק שימור אנרגיה מכנית 12 שעות  
עבודת כוח. חישוב עבודת כוח לתנועות שונות: תנועת נקודת חומרית, תנועה מתקדמת של גוף קשיח, תנועה סיבובית של גוף קשיח, תנועה מישורית של גוף קשיח. הספק ונצילות. האנרגיה הקינטית: האנרגיה הקינטית של נקודה חומרית ושל מערכת מכנית, האנרגיה הקינטית של גוף קשיח הנמצא בתנועה מתקדמת, האנרגיה הקינטית של גוף קשיח הנמצא בתנועה סיבובית, האנרגיה הקינטית של גוף קשיח הנמצא בתנועה מישורית. האנרגיה הפוטנציאלית. כוח משמר. מצב ייחוס.

12.2 תנע והתקף 10 שעות

משפט התנע. כלל שימור תנע והמהירות. משפט על תנועה מרכז המסות. כלל שימור המהירות וכלל שימור הקוארדינטות במערכת מכנית. משפט מומנט התנע. כלל שימור מומנט התנע.

13. משוואות דיפרנציאליות של תנועה (עקרנות בלבד) 4 שעות  
קשר בין כוח ותאוצה. כוח ההתמד. ועקרון ד'אלמבר. משוואות דיפרנציאליות של תנועת נקודה חומרית. משוואות דיפרנציאליות של תנועת מתקדמת של גוף קשיח. משוואות דיפרנציאליות של תנועה סיבובית ומישורית של גוף קשיח.

#### ספרות עזר בעברית :

1. ד"ר פ. קנדל. סטטיקה וחוזק במכונות. הוצאת אורט ישראל. 2001 ,
2. ד"ר פ. קנדל. דינמיקה. הוצאת אורט ישראל. 2001 .
3. י. אלפרוביץ. 'מכניקה טכנית, חלק א' (סטטיקה). הוצאת אורט ישראל. 2009 ,
4. י. אלפרוביץ. 'מכניקה טכנית, חלק ב' (דינמיקה). הוצאת אורט ישראל. 2011 ,
5. י. אלפרוביץ. 'סטטיקה וחוזק חומרים. הוצאת אורט ישראל. 2003 ,

#### ספרות עזר באנגלית:

1. J.L. Meriam, L.G.Kraige .Engineering Mechanics. Dynamics. (9-th edition).  
Wiley, 2018.
2. J.L. Meriam, L.G.Kraige, J.N.Bolton .Engineering Mechanics. Statics. (9-th edition).  
Wiley, 2018.
3. R.C. Hibbeler. Engineering Mechanics. Statics. (14-th edition), 2016.
4. A.M. Bedford, W. Fowler. Engineering Mechanics. Statics & Dynamics.  
(5-th edition), 2008.

## חוזק חומרים

שנה א' 96 שעות

סה"כ 96 שעות

### ראשי פרקים

6 ש'	מושגי יסוד בחוזק חומרים	1.
8 ש'	מרכז הכובד ומומנט התמד של השטחים	2.
12 ש'	מתיחה ולחיצה	3.
2 ש'	גזירה ומעיכה	4.
16 ש'	פיתול	5.
28 ש'	כפיפה	6.
10 ש'	בעיות יתר סטטיות	7.
2 ש'	קריסה	8.
6 ש'	מאמצים דינמיים	9.
6 ש'	התנודות של מערכות אלסטיות	10.

### הקדמה ומטרות

חוזק חומרים (Strength of Materials) הוא ענף במכניקה שימושית העוסק בהתנהגות חלקים מכניים בהשפעת עומסים חיצוניים, בהתנהגות הפנימית שלם התלויה בחומר ובמעוות כתוצאה מהעומס.

ידיעת תכונות החומר בשילוב של ניתוח העומסים הפועלים על חלק מכונה הם בסיס לתכנון חלקי מכונות – מקצוע התמחות בהכשרתו של הנדסאי מכונות, ולפיכך, קורס בחוזק חומרים מהווה בסיס מוצק להכשרת הסטודנטים בתחום של תכן הנדסי ופיתוח מכונות. חוזק חומרים עוסק במאמצים, מעוותים וקשר ביניהם, חישובי חוזק וקשיחות, ובמונחי תכנון כמו מאמצים מותרים, תזוזות מותרות ומקדמי ביטחון.

מטרת המקצוע חוזק חומרים היא להכיר עקרונות האנליזה של חלקי מכונות, העוסקות בניתוח התנהגות של החומר באמצעות בדיקת מאמצים ומעוותים, וזאת תוך שימוש בשיטות מתמטיות המבוססות על סטטיקה, בשילוב עם ניסויים מדעיים ובמבחנים מעשיים במעבדה.

מקצועות קדם ללימוד חוזק חומרים הם: מתמטיקה ומכניקה טכנית – סטטיקה.

### מתודולוגיית למידה

1. הרצאה פרונטלית בשילוב של מצגות, דוגמאות מערכות מכניות של מכונות ומכלולים, גופים ועומסים.
2. שילוב מחשב ורשת האינטרנט לצפייה בסרטונים הממחישים את הפן הפרקטי של נושאי לימוד.
3. שילוב הרצאות עם למידה במעבדה לחוזק חומרים.
4. חלוקת משימות לחישובי חוזק לקבוצות עבודה קטנות, דיון על דרכי פתרון ותוצאות החישוב.
5. מתן מטלות חישוב כעבודה עצמית בבית.
6. תרגול חישובי חוזק בקבוצות קטנות.

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

### תפוקת למידה

עם סיום הקורס הסטודנט:

1. יגדיר סוגי עומסים שפועלים על גופים במערכות מכניות, וסוגי דפורמציה המתפתחים בהם.
2. יבין התנהגותו של חומר העומד בעומס חיצוני מסוגים שונים.
3. יבצע חישובי חוזק של גוף מכני הנתון לדפורמציות שונות.
4. ינתח תוצאות החישוב של גוף ויסיק מסקנות אודות עמידתו לעומסים.

### מיומנויות

1. יכולת חשיבה מתמטית ויצירתית.
2. יכולת הבנת מערכות ותהליכים.
3. יכולת פתרון בעיות.
4. יכולת עבודה עצמית.
5. יכולת ניתוח תוצאות.

### פירוט נושאי לימוד

#### 1. מושגי יסוד בחוזק חומרים 6 שעות

כוחות חיצוניים ופנימיים. מאמצים נורמליים ומשיקיים. עיוותים (דפורמציות). קשר בין מאמץ ודפורמציה. מצבי עמיסה. הנחות בתורת החוזק

#### 2. מרכז הכובד ומומנטים התמד (אינרציה) של השטחים 8 שעות

מומנט התמד ראשון של השטח. מרכז הכובד של שורות מישוריים. מומנטים התמד שניים. חישובי מומנט התמד של שטחים פשוטים ומורכבים. חישוב מומנט התמד כלפי לצירים מקבילים. משפט שטיינר.

#### 3. מתיחה ולחיצה 12 שעות

חישוב כוחות פנימיות. חוק הוק. חישובי מאמצים ודפורמציות. מאמץ מותר, מקדם בטוחות. בניית מהלכי פילוג כוחות ומאמצים. מאמצים תרמיים. בעיות יתר סטטיות.

#### 4. גזירה ומעיכה. 2 שעות

מאמצי גזירה. חישוב דוגמאות לגזירה. חישוב לגזירה רצויה.

#### 5. פיתול. 16 שעות

חישובי מאמצים ועיוותים למוטות נתונות לפיתול. בניית מהלכי מומנטים וזוויות פיתול למוטות עגולות. חישובי חוזק וקביעת מידות. בניית מהלכי מאמצים לגל עמוס במומנטים פיתול.

**28 שעות**

**6. כפיפה**

**12 שעות**

**6.1 מושגים כלליים.**

קביעת כוחות גזירה ומומנטים כפיפה. הקשר הדיפרנציאלי בין העומס הרציף, כוח הגזירה ומומנט הכפיפה. מהלכים כוחות גזירה ומומנטים כפיפה. חישובי קורות למאמצים נורמליים בכפיפה.

**8 שעות**

**6.2 קורות בעלות ציר עקום.**

חישוב מומנטים כפיפה, הכוחות הנורמליים, וכוחות הגזירה. חישוב המאמצים הנורמליים. מיקום ציר הניטרלי בהתכים אחדים.

**8 שעות**

**6.3 מאמצים משולבים**

שילובים של כפיפה ומתיחה, כפפה ופיתול. כפיפה מורחבת של מוטות עגולות. ארבע היפותזות חוזק.

**10 שעות**

**7. בעיות יתר סטטיות**

עקרונות השיטה הכללית לפתרון בעיות יתר סטטיות. מאמצים תרמיים. בעיות יתר סטטיות בחיבור מוטות. בעיות יתר סטטיות למוטות לפיתול.

**2 שעות**

**8. קריסה**

מושגים כלליים. קריסה אלסטית ושימוש בנוסחת אוילר. קריסה פלסטית ונוסחת טטמאייר. חישובי חוזק לקריסה.

**6 שעות**

**9. מאמצים דינמיים**

מושגים כלליים. המאמצים בחלקים הנמצאים בתנועה קבועת-תאוצה. חישובי חוזק בחלקים הנתונים לנגיפה. המאמצים הדינמיים במוטות מדורגות.

**6 שעות**

**10. התנודות של מערכות אלסטיות.**

מושגים כלליים. תופעת התהודה. חישובי המאמצים כתוצאה מתנודות. תנודות חופשיות של מערכת אלסטית. תנודות מאולצות. התחשבות במסה של מערכת הנושאת. תנודות פיתול של גל בעל דרגת חוזק אחת. חישובים מעשיים בתנודות.

**ספרות**

1. י' אלפרוביץ, סטטיקה וחוק חומרים, מהדורה ב', 1997
2. י' אלפרוביץ, תורת החוקק ואלסטיות, חלק א' מהדורת ב' אורט ישראל, 1987

## מעבדה בחוזק חומרים

שנה א' 16 שעות

סה"כ 16 שעות

### ראשי פרקים

1. ניסויים בחוזק חומרים (סימולציות) 16 שעות

#### הקדמה ומטרות

המעבדה לחוזק חומרים מאפשרת לסטודנטים התנסות ברוב הנושאים המרכזיים הנלמדים בחלקו העיוני של הקורס חוזק חומרים. הניסויים עבור הנדסאי מכטרוניקה יבוצעו בצורה וירטואלית בעזרת כלי הסימולציה של תוכנת Solidworks ותוכנות דומות ובעזרת הדגמות של סרטונים (שניתן למצוא ברשת האינטרנט - YouTube, Google). הניסויים יבוצעו במעבדת מחשב בה מותקנת תוכנת ה-Solid. השימוש באמצעים הווירטואליים יחסוך רכישה והתקנה של מכשור מיוחד ויקר יחסית (מכונות לבדיקות מכניות וחיישנים) ונותן מענה בסיסי להבנת החומר. ניתן להשתמש בידע הנצבר ובסימולציות המבוצעות גם עבור חישובי חוזק מתקדמים במסגרת ביצוע פרויקט הגמר/ סטאז'.

#### מתודולוגיית למידה:

ביצוע סימולציות בעזרת תוכנת Solidworks (במעבדת מחשבים) צפייה מודרכת בסרטוני הדגמה. צפייה עצמית בסרטונים נוספים להרחבת הידע

#### תפוקת למידה:

עם סיום הקורס בהצלחה הסטודנט:

1. יכיר את השימוש בתוכנת ה Solid לביצוע סימולציות חוזק.
2. יכיר ויבין את התאמת החומר לסביבת העבודה
3. יידע נתח ולחשב חישובי חוזק.

#### מיומנויות:

1. יכולת למידה עצמית
2. יכולת ניתוח תוצאות
3. יכולת והבנה טכנית
4. יכולת לכתובה טכנית (סיכום ומסקנות).

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

**פרוט התכנים (הנושאים והניסויים) :**

16 שי

**1. פירוט ניסויים ובדיקות**

**1.1. בחירת חומר לעבודה בתנאי מתיחה.**

מתיחת דגמים העשויים מחומרים שונים עד שברם, פיענוח של דיאגרמות, קביעת גבול האלסטיות וחישוב המאמץ המותר. בחירת החומר לעבודה בתנאי מתיחה נתונים.

יבוצע על ידי בניית גרף ( $\epsilon-\sigma$ ) בעזרת מודול Simulation בתוכנת Solid Works ובשימוש בהדגמות בעזרת סרטוני You Tube.

**1.2. קביעת מודול האלסטיות.**

בדיקת דגמים מחומרים שונים ע"י מתיחה אלסטית. מדידת אורך הדגם לאחר המתיחה. שימוש בדיאגרמות מתיחה של חומרים שונים לחישוב מודול האלסטיות. השוואה בין מודול האלסטיות לבין שיפוע של הדיאגרמה. הדגמה על ידי החלק האלסטי של דיאגרמה וירטואלית ( $\epsilon-\sigma$ ) שנוצרת בסימולציה בתוכנת Solid Works

**1.3. בחירת חומר לעבודה בתנאי כפיפה.**

בדיקת דגמי כפיפה העשויים מחומרים שונים במכונת כפיפה. השוואה בין דיאגרמות הכפיפה של חומרים שונים. חישוב גבול האלסטיות והמאמץ המותר לכפיפה. בחירת החומר המתאים לתנאי כפיפה מעשיים. בניית מהלך כוחות גזירה ומהלך מומנטים בתנאי העמסה ע"י כוח מרוכז, אחד או/ו שני כוחות מרוכזים (על פי תוצאות הניסוי). יבוצע בצורה וירטואלית על ידי מודול הסימולציה

**1.4. בדיקת חומרים לפיתול.**

בדיקה לפיתול של דגמים העשויים מחומרים שונים עד השבר. חישובי מודול הגזירה וחוזק לפיתול של החומרים הנבדקים. בחירת החומר או חומרים לתנאי פיתול מסוימים. יודגם בעזרת סרטונים מתאימים.

**1.5. קביעת מודול הגזירה.**

פיתול דגמים מחומרים שונים בתחום האלסטיות. בניית דיאגרמות פיתול על סמך תוצאות הבדיקה. חישוב מודול הגזירה של חומרים שונים. קביעת יחס מקורב בין מודול האלסטיות למודול הגזירה. יודגם בעזרת סרטונים מתאימים.

## חלקי מכונות

שנה ב' 128 שעות

סה"כ 128 שעות

### ראשי פרקים

6 שעות	1. חלקי מכונות-הגדרות ומיון
10 שעות	2. מחברים מסומרים
12 שעות	3. מחברי ריתוך
20 שעות	4. ברגים
4 שעות	5. חלקי חיבור(פינים, שגמים, גלי כוכב, יתדות)
6 שעות	6. מבוא ותפקיד של ממסרת מכנית
10 שעות	7. גלים
6 שעות	8. מסבים
12 שעות	9. מצמדים
12 שעות	10. קפיצים
2 שעות	11. מכונות הרמה
8 שעות	12. גלגלי שיניים
4 שעות	13. ממסרת חלזונית
4 שעות	14. ממסרת פלנטרית וממסרת הרמונית
12 שעות	15. ממסרת רצועה

### הקדמה ומטרות

חלקי מכונות, אשר מוכר לעוסקים בתחום גם בשם תכן מכני, הינו מקצוע התמחות מרכזי בהכשרת הנדסאי מכונות. הוא מבוסס על עקרונות מדעים ופיתוחים טכנולוגיים, שנעשו- במשך שנים רבות, תוך התחשבות בשינויים טכנולוגיים שחלו באחרונה בתחום. המקצוע נדרש להבנת עקרונות של בניית מכונות, החל בשלב התכנון ועד לקבלת המוצר המוגמר, שיטות חישוב ותכנון של חלקים ומכלולים מכניים.

שליטה בעקרונות של תכן מכני מהווה בסיס חזק והכרחי להכנת פרויקט גמר. הוא נדרש לבוגרי המגמה העוסקים בתחום לצורכי פיתוח, תכנון, ייצור, תחזוקה, תיקון ומדידות של מערכות מכניות.

לימוד חלקי מכונות דורש ידע מוקדם במקצועות יסוד כמו: מתמטיקה, גרפיקה הנדסית, מכניקה טכנית, תורת החומרים וחוזק חומרים.

הוראת המקצוע חלקי מכונות מבוססת על שילוב של שני עקרונות בסיסיים: חישוב עומסים בהם נתונה המערכת (חישוב בדיקה- עקרון של בעיה ישירה) והגדרת החומרים הנדרשים וחישוב ממדים של חלקי מכונות העומדים בעומס (חישוב תכנון- עקרון של בעיה הפוכה).

מטרות המקצוע חלקי מכונות הכרת חלקי מכונות ומכלולים מכניים לבניית מכונות, לרבות חלקי מכונות תקינים, והקניית עקרונות תכנון מעשיים של מערכות מכניות, החל בתכן חלקי מכונות בודדים ועד לתכנון מכלולים מכניים מורכבים.

מקצוע חלקי מכונות הינו מקצוע ליבה (חובה) בתכנית להכשרת הנדסאי מכונות מכטרוניקה.

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

### מתודולוגיית למידה

1. הרצאה פרונטלית בשילוב של מצגות, דוגמאות של חלקי מכוונות ומכלולים מכניים, הצגת בעיות חישוב ותכנון של מכוונות, לרבות המחשה ממוחשבת של מודלים וחלקי מכוונות שתוכננו ע"י הסטודנטים במסגרת לימוד קורס לסיב"מ.
2. שילוב של רשת האינטרנט ככלי להמחשת נושאי לימוד רלוונטיים.
3. עבודה בקבוצות קטנות לצורך גיבוש פתרונות חלופיים לבעיות התכן.
4. שילוב בין לימוד עיוני של המקצוע למעשי במעבדה לחלקי מכוונות.
5. הכרת שימוש בקטלוגים תעשייתיים לחלקי מכוונות תקינים.

### תפוקת למידה

עם סיום הקורס הסטודנט :

1. יחשב חלקי מכוונות לעומסים שונים מבחינת עמידתם לחוזק וינתח את תוצאות החישוב.
2. יתכנן חלקי מכוונות בהתאם לעומסים שמופעלים עליהם.
3. יתכנן מכלולים מכניים פשוטים יחסית.
4. יתמודד עם בעיות בחירת פתרון מועדף מבין פתרונות תכן שונים.
5. ישתמש בקטלוגים של חלקי מכוונות תקינים.

### מיומנויות

1. יכולת חשיבה מתמטית.
2. יכולת קריאה והבנת סרטוטים.
3. יכולת הבנה וניתוח של מבנה המערכות, קשר בין חלקי מכוונות במכלול.
4. יכולת עבודה עצמית ועבודה בקבוצות.
5. יכולת ניתוח תוצאות.
6. יכולת יישום של החומר הנלמד במקצועות יסוד שונים לצורכי תכנון מערכות מכניות.

### פירוט נושאים

- 1. חלקי מכוונות-הגדרות ומיון** **6 שעות**
- 1.1 עקרונות תכנון** **2 שעות**
- סוגי העמסה. עומסים סטטיים, דינמיים ומחזוריים דרישות חוזק ודרישות אורך חיים. חישובי מאמצים גבוליים ומאמץ מותר. קביעת מאמצים המותרים לעומס סטטי. חישוב מקדם בטיחות לעומסים סטטיים.
- 1.2 קביעת מאמצים מותרים לעומס משתנה.** **4 שעות**
- תופעת התעייפות בחלקים ומבנים. מאמצים מתחלפים, מחזורי מאמצים. חוזק להתעייפות וחוזק גבולי. בניית עקומת וולר Woller וקביעת מאמצים גבוליים. השפעת גורמים שונים כמו: ריכוז מאמצים, טיב פני שטח, סוג החומר וכ"ה לחוזק גבולי ומקדם בטיחות לעומס משתנה.
- 2. מחברים מסומרים** **10 שעות**
- 2.1 עקרונות החיבור המסומר** **4 שעות**
- גאומטריה של מחברים. חישובי תיכון מחבר ללא מומנט. סוגי מאמצים מתפתחים במסמרות ובלוחות. חישובי חוזק במסמרות ובלוחות.
- 2.2 חישובי תיכון של מחבר עמוס ע"י כוחות ומומנט.** **4 שעות**
- מיקום מרכז כובד של מבנה המסמרות. השפעת כוחות לא עוברות דרך מרכז הכובד על עומס על המסמרות. השפעת כוח, השפעת מומנט. חישוב עומס שקול ועל מסמרה העמוסה ביותר.
- 2.3 בעיה ישירה ובעיה הפוכה.** **2 שעות**
- חישוב כוחות ומומנטים במבחר מחובר ע"י מסמרות עם מידות נתונות.
- 3. מחברי ריתוך** **12 שעות**
- 3.1 שיטות ריתוך.** **4 שעות**
- ריתוך חשמלי. ריתוך חשמלי בסביבה מגינה. ריתוך התכה בהתנגדות חשמלי. ריתוך וחיתוך בגז. מחברי ריתוך, מיון ותקני סימון מאמצי מותר למבחי ריתוך. מאמצים פנימיים המתפתחים בתפר. שיטות להורדת מאמצים פנימיים. השפעת % פחמן בחלקים מרותכים לתהליך ריתוך.
- 3.2 חישובי תיכון של מחברי ריתוך בשיטה המאמץ הקווי** **6 שעות**
- תפרי ריתוך עמוסים בעומס סימטרי. מחבר ריתוך עמוס בכוח מרכזי. תפר ריתוך מוטרך לגזירה ופיתול. תפר ריתוך מוטרך למתיחה, כפיפה ולגזירה. תפר ריתוך מוטרך לפיתול, לכפיפה ולגזירה.
- 3.3 חישובי תיכון של מחברי ריתוך לתפרים עם מידות נתונות** **2 שעות**
- חישוב מאמצים בתפר. חישוב כוחות ומומנטים על מבחר עם נתונים מידות של התפר. בעיה הפוכה.

- 4. ברגים.**  
4.1 **תכנים וגאומטריה התברייגים.**  
תקנים תברייגי הידוק. תקנים לתברייגי הנעה והרמה. עקומת בורג. מספר התחלות. התכן הבין-לאומי לתברייגים מטריים. התקנים אמריקניים לתברייגי הידוק. תכנים בריטיים. תכנים לתברייגי הנעה והרמה
- 20 **שעות**  
2 **שעות**
- 4.2 **מוסגי יסוד של חיבור ברגים**  
2 **שעות**  
יקרנות פעולה בורגי הידוק הרמה והנעה. כוח צירי, מומנט פיתול בלב הבורג. מומנט חיכוך בין משטח האום ומשטח הלוח, מומנט כולל. תנאי לעצירה אצמית
- 4.3 **מאמצים בתברייג ובבורג.**  
6 **שעות**  
חישוב מאמצים בתברייג ומאמצים בקנה הבורג. בדיקת חוזק. חישוב כוח צירי מרבי. חישוב גובה מינימלית של האום. נצילות של חיבור בורגי. מחבר בורגי עמוס ע"י כוחות מרכזיים. השפעה מומט פיתול וכוחות שלא עוברות דרך מרכז כובד על חישוב כוח צירי הנדרש. מומט סיבוב. חישוב כוחות ציריים כי תוצאה ממומנט סיבוב.
- 4.4 **ברגים עם הידוק מוקדם לצורך אטימה**  
4 **שעות**  
קשיחות של בורג וקשיחות של המכסה (חלקים מהודקים). תנאי להבטחת האטימה. חישוב לחץ קריטי. בחית בורג.
- 4.5 **בורגי הנעה.**  
4 **שעות**  
תיכון בורגי הנעה. תופעת קריסה ובדיקת לקריסה בורג הנעה. מדדס תמירות ונוסחת אוילר. נצילות של חיבור בורגי.
- 4.6 **בורגי גלילה**  
2 **שעות**  
בורגי גלילה-מבנה ותכונות. תיכון בורגי גלילה. בדיקות בורג גלילה לקריסה ולמהירות הקריטית.
5. **חלקי חיבור(פינים, שגמים, גלי כוכב, יתדות)**  
4 **שעות**  
תנאי עבודה. בחירת חומר. תיכון חיבור בפין. בדיקת חוזק של הפין הרדיאלי. בדיקת חוזק של הפין הצירי. מאמצים מתפתחים בשגם. מידות של השגם. גל כוכב. חישובי תיכון של גל כוכב. יתדות אורך חישובי תיכון של יתדות אורך.
6. **מבוא ותפקיד של ממסרת מכנית**  
6 **שעות**
- 6.1 **תפקיד של תמסורת מכנית**  
2 **שעות**  
יחס תמסורת. אלמנטים של תמסורת ומיון ממסרות. נצילות. חישוב מהירות סיבובית ומומנטים פיתול.
- 6.2 **ממסרות בסיסיות**  
4 **שעות**  
מיון ממסרות. ממסרת גלגלי שיניים. ממסרת חלזונית. ממסרת פלנטרית. ממסרת הרמונית. ממסרת שרשות. ממסות רצועה. ממסות גלגלי חיכוך.
7. **גלים**  
10 **שעות**
- 7.1 **גל וסרן**  
4 **שעות**  
חומרים לייצור גלים וסרנים. קביעת מאמץ מותר. כוחות ומומנטים מפעלים על הגל ע"י אלמנטים של תמסורת: גלגלי שיניים, רצועות, שרשות.
- 7.2 **חישובי חוזק של גלים**  
6 **שעות**  
בניית מהלכי מומנטים כפיפה ופיתול. חישוב מאמצים שקולי. קביעת מידות של גלים.
8. **מסבים.**  
6 **שעות**

**4 שעות**

**8.1 מסבי החלקה ומסבי גלילה**

יתרונות וחסרונות. חישוב מסבי החלקה.. סיכה המסב. סוגי מסבי גלילה. יתרונות וחסרונות. כוחות רדיאליים וציריים. חישוב מסבי גלילה. שימוש בטבלאות. הרכבה ופירוק מסבים.

**2 שעות**

**8.2 מסבים קוויים**

סוגי המסבים הקוויים. בחירת המסב הקווי. רכיבי הגנה על מסבים קוויים. שימוש בטבלאות לבחירת מסבים לפי עומס ואורך חיים.

**12 שעות**

**9. מצמדים**

**2 שעות**

**9.1 סוגי מצמדים. יקרנות בחירת מצמד.**

סוגי מצמדים קבועים (נייחים): קשוחים ומצמדים בעלי קיזוז. מצמדים זמניים: קשיחים, מצמדי חיכוך, מצמדים עם אבקה מגנטית. מצמדים גבוליים: מצמדים להגבלת מומנט, מצמדים להגבלת בחירת מצמד: מומנט סיבוב ומומנט אפקטיבי, תנאי עבודה של מצמד, סוגי סטיות וקיזוז.

**8 שעות**

**9.2 מצמדי חיכוך**

מצמדים שטוחים: חישובי תיכון. מצמד בעל בלאי קבוע. מצמד בעל לחץ שטח אחיד. חישוב התיכון של מצמד חיכוך רב-דיסקאות. מצמד קוני: חישובי התיכון של מצמד קוני: בעל בלאי קבוע, בעל לחץ שטח אחיד. כוחות הצמדה, עבודה והפרדה.

**2 שעות**

**9.3 מצמדים גבוליים**

מצמדים להגבלת מומנט. מצמדים להגבלת מהירות

**12 שעות**

**10. קפיצים**

**6 שעות**

**10.1 קשיחות הקפיץ ועבודת העווי.**

חומרים לקפיצים ומאמצים בכריכות. מאמץ מותר. קפיץ בורגי גלילי. חישובי תיכון ועווי, תנאי חוזק. תנאי היעווי. קפיץ לחיצה וחישוב מידות. יציבות של קפיץ בורגי. בדיקה לקריסה. קפיץ מתיחה. חיבור קפיצים. מערכות קפיצים מקבילים וקפיצים בטור.

**6 שעות**

**10.2 סוגי קפיצים ואופן פעולה**

מוטות פיתול. קפיץ פיתול בורגי גלילי. קפיץ פיתול לולייני. קפיץ שטוח וקפיץ עלה. קבוע הקפיץ. חישובי חוזק ועווי. קפיץ צלחתי.

**2 שעות**

**11. מכונות הרמה**

**2 שעות**

**11.1 עגורן עלי-מבנה ומכלולים אופייניים**

גלגלות. כבלי הרמה. תופי הרמה. שרשרות הרמה.

**8 שעות**

**12. גלגלי שיניים**

- 12.1 גלגלי שיניים עם שיניים ישירות** 4 שעות
- חומרים, גאומטריה, מודול, יחס תמסורת, תנאי שילוב ומקדם השילוב ההיקפי, מספר שיניים המזערי. כוחות השילוב. תיכון השיניים בתאום תנאי חוזק לכפיפה ותנאי חוזק למגע התעייפות (אורך החיים).
- 12.2 גלגלי שיניים עם שיניים משופעות** 2 שעות
- גאומטריה, גלגל שיניים מדומה ומספר השיניים המזערי. תיכון שיניים. כוחות השילוב.
- 12.3 גלגלי שיניים קוניים.** 2 שעות
- גאומטריה, גלגל שיניים מדומה ומספר שיניים מזערי, תיכון השיניים. כוחות השילוב.
- 13. ממסרת חלזונית** 4 שעות
- 13.1 מאפייני שילוב וכוחות שילוב. נצילות. עצירה עצמית. חומרים עבור חילוץ ולגלגל שיניים. חישובי תיכון. סיכה הממסרת.
- 14. ממסרת פלנטרית וממסרת הרמונית** 4 שעות
- קינמטיקה ויחס תמסורת של ממסרת פלנטרית, גאומטריה, מומנטים וכוחות שילוב. מבנה והקינמטיקה של ממסרת הרמונית.
- 15. ממסרת רצועה** 12 שעות
- 15.1 מושגי יסוד. 4 שעות
- עקרון פעולה. גאומטריה הממסרת. יחס תמסורת. כוחות ומאמצים ברצועה. ניצלות.
- 15.2 סוגי רצועה. תיכון וחישובי חוזק 8 שעות
- רצועה שטוחה. רצועה טריזית. רצועה תזמון. חישובי חוזק ותיכון.

#### ספרות

1. לבנת, מ-פרקי מכונות, חלקים א', ב', ג', הספר להנדסאים, אוניברסיטה תל-אביב
2. אינג' ע. פרץ-פרקים בחלקי מכונות, מדרשת רופין.
3. אלפרוביץ' י, לוחות טכניים, אורט ישראל
4. י. וינגר, מ. פרישמן, מ. הלפרין, י. אסתרליס, י. גביש- חלקי מכונות 1
5. י. וינגר, מ. פרישמן, מ. הלפרין, י. אסתרליס, ל. גוטמן- חלקי מכונות 2
6. י. וינגר, מ. פרישמן, י. אסתרליס, ו. צ'צ'יק, נ. אמיר- חלקי מכונות 3
7. J.E. Shigley, Mechanical Engineering Design, Mischke, McGraw-Hill, 1990
8. J.E. Shigley, C.R. Mischke-Standard Handbooks of Machine Design- McGraw-Hill, 1996
9. Robert C. Juvinall-Fundamentals of Machine Component Design, 1984.

## מקצוע: יסודות הידראוליקה ופנאומטיקה

שנה א' 64 ש'  
סה"כ: 64 ש'

### ראשי פרקים

<b>א. הידראוליקה</b>	<b>48 ש</b>
1. הידרוסטטיקה	12 ש'
2. הידרודינמיקה	10 ש'
3. חישוב הפסדים כלליים	10 ש'
4. מערכת צינורות	4 ש'
5. מערכות הספק הידראוליות	12 ש'
<b>ב. פנאומטיקה</b>	<b>16 ש'</b>
6. מעגלים פנאומטיים	10 ש'
7. מעגלים אלקטרו-פנאומטיים	6 ש'

### הקדמה ומטרות

הידראוליקה (Hydraulics) היא שם כולל לטכנולוגיה של הפעלה מכנית באמצעות דחיסת נוזלים בצינורות לחץ, ומנגד, במערכות פנאומטיות (Pneumatics) משיגים את הפעולה המכנית בעזרת גז דחוס. מערכות הידראוליות ופנאומטיות לוקחות חלק משמעותי בתחומים טכנולוגיים רבים של התעשייה היצרנית. לאחרונה, עם התפתחות המכניקה והפיכת מכונות למורכבות ומתוחכמות יותר, גובר השימוש בכוח הידראולי ופנאומטי להפעלת צרכנים שונים, ובמקרים רבים בעזרת מערכות משולבות הידרו-פנאומטיות, המשלבות פיקודים פנאומטיים לרכיבים הידראוליים מושג יתרון של השקעת אנרגיה נמוכה וזולה ליצירת כוח פעולה מכני משמעותי מאוד.

מטרות הקורס: הכרת היבטים פיזיקליים החיוניים להבנת פעולתן של מערכות הידראוליות ופנאומטיות יסודיות, הכרת רכיבים הידראוליים נפוצים ביותר המופיעים ברוב מערכות הידראוליות, הכרת רכיבים פנאומטיים ותהליכי אוטומציה בסיסיים.

קורס עיוני ביסודות הידראוליקה ופנאומטיקה נלמד בצמוד למעבדה מעשית במקצוע.

### מתודולוגיית למידה

1. שילוב תכני לימוד עיוניים בהתנסות במעבדה.
2. תרגול פתרון מערכות בקבוצות קטנות.
3. שימוש במחשב ורשת האינטרנט לצפייה בסרטונים להמחשת מערכות הידראוליות ופנאומטיות בתעשייה.
4. סיורים בתעשייה.

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

## תפוקות למידה

עם סיום לימוד המקצוע הסטודנט:

1. יבחין בין חוקים פיסיקליים מתאימים בהקשר לפתרון מערכות הידראוליות שונות.
2. יחשב מערכות הידרוסטטיות והידרודינמיות.
3. ינתח תוצאות הפתרון של מערכות הידראוליות.
4. יבחין בין תפקידים של רכיבים במערכות הידראוליות ופנאומטיות.

## מיומנויות

1. יכולת חשיבה מתמטית.
2. יכולת הבנת מערכות מורכבות ותהליכים.
3. יכולת עבודה עצמית.
4. יכולת ניתוח תוצאות והסקת מסקנות.

## פירוט נושאי לימוד

- |       |  |
|-------|--|
| 48 ש' | <b>א. הידראוליקה</b>   |
| 12 ש' | <b>1. הידרוסטטיקה.</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1 מושגי יסוד ויחידות מידה – MKS, CGS, SI. צפיפות החומר, משקל סגולי, צפיפות סגולית יחסית. הגדרת לחץ, ספיקה, הספק הידראולי, נצילות. תכונות נוזלים, צמיגות.</li> <li>1.2 סוגי לחץ. לחץ הידרוסטטי, לחץ אטמוספרי, לחץ מוחלט. חוק פסקל. מכבש פסקל.</li> <li>1.3 ציפה, רחיפה, צלילה. חוק ארכימדס.</li> </ol>  |
| 10 ש' | <b>2. הידרודינמיקה.</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1 סוגי ספיקה. ספיקה משקלית, ספיקה מסית, ספיקה נפחית. משוואת הרציפות.</li> <li>2.2 סיווג צינורות. מהירות זרימה מומלצת.</li> <li>2.3 סוגי זרימה. זרימה למינרית וטורבולנטית. מספרי רינולדס.</li> <li>2.4 משוואת ברנולי אידאלית (ללא הפסדים). משוואת ברנולי הכללית (כולל הפסדים).</li> </ol>              |
| 10 ש' | <b>3. חישוב הפסדים כלליים.</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1 חישוב הפסדי עומד אורכיים. משוואת דארסי-וייסבך.</li> <li>3.2 חישוב הפסדים אורכיים על פי מהירות וספיקה.</li> <li>3.3 הפסדי אנרגיה עקב זרימה למינרית וטורבולנטית, דיאגרמת מודי.</li> <li>3.4 חישוב הפסדים אורכיים עפ"י משוואות הייזן-ויליאמס.</li> <li>3.5 חישוב הפסדי עומד מקומיים.</li> </ol> |
| 4 ש'  | <b>4. מערכת צינורות.</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>4.1 הגדרה ומיון של מערכת צינורות. חיבור צינורות בטור.</li> <li>4.2 חיבור צינורות במקביל. חיבור צינורות מעורב.</li> </ol>   |

- 12 ש'**
- 5. מערכות הספק הידראוליות.**
- 5.1. מרכיבי מערכות הידראוליות פשוטות. צילינדרים. משאבות. נוזלים הידראוליים.
  - 5.2. שסתומים לבקרת כיוון. סוגי שסתומים ויישומם במערכות הידראוליות.
  - 5.3. מפעיל קווי (צילינדר ובוכנה).
  - 5.4. בחירת מרכיבי המערכת מקטלוגים.
  - 5.5. חישוב מהירות וכוח במערכת.
  - 5.6. חישוב זמן תנועה וזמן מחזור.

**16 ש' ב. פנאומטיקה**

- 10 ש' 6. מעגלים פנאומטיים.**
- 6.1. מושגי יסוד. מבנה מערכת פנאומטית בסיסית. מרכיבי המערכת: מדחס, ווסת, שסתום, בוכנה, מחבר, ברז חשמלי, צנרת.
  - 6.2. סימונים סכמתיים. כללים לתכנון מעגלים.
  - 6.3. בחירת מרכיבי המעגלים מקטלוגים.
  - 6.4. דיאגרמת זמן-תנועה. פיקוד כפול.
  - 6.5. שיטת קסקדה וחיתך אות.

- 6 ש' 7. מעגלים אלקטרו-פנאומטיים.**
- 7.1. סימונים סכמתיים. אביזרי פיקוד חשמלי.
  - 7.2. דיאגרמת סולם חשמלי.

**ספרות עזר:**

1. י. זילברשטיין. יסודות ההידראוליקה. אורט ישראל, 2011.
2. י. זילברשטיין. מכניקת הזורמים א'. אורט ישראל, 2010.
3. י. זילברשטיין. מכניקת הזורמים ב'. אורט ישראל, 2010.
4. נ. אבן. מערכות הספק הידראוליות. אורט ישראל, 2011.

**ספרי עזר באנגלית:**

FoxR., McDonald A., Pritchard P. Introduction to fluid mechanics.  
7 th. Ed., NY: Wiley, 2008

## מעבדה למערכות הידראוליות ופניאומטיות

32 שעות	שנה א'
64 שעות	שנה ב'
96 שעות	סה"כ

### הקדמה ומטרות

מעבדה זו מהווה בסיס מעשי והתנסותי של המקצוע מערכות הידראוליות ופניאומטיות. המעבדה מאפשרת לסטודנט התנסות מעשית בניתוח, בנייה ותפעול מעגלים פניאומטיים והידראוליים, תכנות בקרים מתוכנתים ושילוב של בקר במעגל פניאומטי. כמו כן, המעבדה מאפשרת לסטודנטים התנסות במדידת פרמטרים פיזיקליים של זרימה והפעלת ציוד הידראולי ומתקני זרימה.

מטרת המעבדה – לחזק את הידע התיאורטי של סטודנטים במגוון נושאים בתחום מערכות הידראוליות ופניאומטיות שנלמדו בחלק העיוני של המקצוע. במסגרת המעבדה הזו יוכלו הסטודנטים להכיר ציוד, אביזרים ומכשירי מדידה של מערכות פניאומטיות והידראוליות השימושיות בתעשייה. המעבדה תעניק לסטודנטים ידע בניתוח מעגלים פניאומטיים והידראוליים, ותאפשר לתרגל באופן מעשי את תכנון ובנייתן, כמו גם פתרון בעיות בהפעלתם.

שיעורי המעבדה ייערכו במעבדה למערכות הידראוליות ופניאומטיות בקבוצות של 14 סטודנטים לכל היותר. ניסויים ייערכו בקבוצות של 2-3 סטודנטים. בגמר כל ניסוי יציגו הסטודנטים מעגל פניאומטי/הידראולי פועל הבנוי לפי הנדרש בניסוי, כולל שרטוט המעגל ותוכנת בקר. בסיום הניסוי יוגש דו"ח מפורט אודות הניסוי ותוצאותיו.

המעבדה למערכות הידראוליות ופניאומטיות, כמו גם הקורס העיוני במקצוע זה, הינו מקצוע בחירה. לפיכך, הוא יכול להיות מוחלף בלימוד מקצוע אחר, וזאת עפ"י החלטה של המכללה, ובהתאם לנהלי מה"ט.

### מתודולוגיית למידה:

תרגול מעשי במעבדה להתנסות בחומר התיאורטי.

### תפוקת למידה:

- עם סיום הקורס במעבדה הסטודנט:
1. יכיר את הפן המעשי של חוקי זרימה.
  2. יאפיין מערכת בקרה של מעגל פניאומטי ויתכנת בקר PLC בהתאם לדרישות תפקוד המעגל.
  3. ינתח, יבנה, וישרטט מעגל פניאומטי והידראולי על פי דרישות.
  4. יפעיל וישתמש בציוד ובמכשור לבדיקת תכונות ופרמטרים בזרימה.
  5. יאתר ויתקן תקלות בסיסיות במעגל פניאומטי.

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

### מיומנויות:

1. יכולת למידה עצמית
2. יכולת חשיבה טכנית
3. יכולת עבודה בצוות קטן.
4. יכולת פתרון בעיות
5. יכולת ניתוח תוצאות

### פרוט נושאי לימוד וניסויים

#### מעבדה לפניאומטיקה (אוטומציה)

##### 1. הכרת המעבדה

שימוש ותפעול של ציוד ומכשור. הנחיות וכללי בטיחות במעבדה. מבנה של דו"ח מעבדה ודרישות להגשתו.

##### 2. הכרה והפעלת אביזרים בסיסיים של מערכת פניאומטית

- 2.1. רכיבי מערכת פניאומטית. מדחס. יחידת שירות (ווסת לחץ, מסנן, לוכד מים, משמנת).
- 2.2. המרת אנרגיה של אוויר דחוס לתנועה. בוכנה דו-כיוונית. שני מצבים של בוכנה.
- 2.3. שסתום הפעלה 5/2, חיבור לבוכנה. שסתום פיקוד 3/2. סוגי פיקוד של שסתומים.

##### 3. מעגל ידני

- 3.1. הפעלת בוכנה דו-כיוונית בעזרת שסתום הפעלה 5/2 פיקוד אוויר-אוויר ושני שסתומי פיקוד 3/2.
- 3.2. הפעלת בוכנה דו-כיוונית בעזרת שסתום הפעלה 5/2 פיקוד אוויר-קפיץ שסתום פיקוד 3/2.
- 3.3. מעגל חצי-אוטומטי (מחזור A+A): הפעלת בוכנה דו-כיוונית על ידי שסתום הפעלה 5/2 פיקוד אוויר-אוויר, שסתום 3/2 ידני (A +) ושסתום 3/2 גלגלת-קפיץ (A -).

##### 4. בניית מעגל אוטומטי בעזרת חותכי אות

- 4.1. מעגל אוטומטי מחזורי. פריסת המחזור.
- 4.2. בעיית פיקוד כפול במעגל אוטומטי.
- 4.3. מציאת פיקודים כפולים במעגל בעזרת דיאגרמת זמן-תנועה.
- 4.4. פתרון בעיית פיקוד כפול על ידי חותכי אות. הפעלת מספר בוכנות במקביל.

##### 5. בניית מעגל אוטומטי בשיטת קסקדה

- 5.1. עיקרון קסקדה.
- 5.2. פתרון בעיית פיקוד כפול בשיטת קסקדה.

5.3. הפעלת מספר בוכנות במקביל.

**6. בניית מעגל פניאומטי מתקדם תוך שימוש בשערים לוגיים**

- 6.1. רכיבים מיוחדים. שסתומים מיוחדים : שסתום עקיבה, שסתום מתח חד-כיווני, שסתום בורר, שסתום דיפרנציאלי.
- 6.2. השהייה פניאומטית.
- 6.3. פונקציה AND. בניית שער לוגי AND בעזרת שסתומים (3/2).
- הפעלת בוכנה מותנית פונקציית AND.
- 6.4. פונקציה OR. בניית שער לוגי OR בעזרת שסתומים (3/2).
- הפעלת בוכנה מותנית פונקציית OR.
- 6.5. פונקציה NOT. בניית שער לוגי NOT בעזרת שסתומים (3/2).
- הפעלת בוכנה מותנית פונקציית NOT.

**7. פיקוד חשמלי של מעגל פניאומטי. ממסר חשמלי**

- 7.1. ממסר חשמלי – מבנה ואופן פעולה.
- 7.2. רכיבים של מעגל פניאומטי עם פיקוד חשמלי. פיקוד חשמלי של שסתום הפעלה. רכיב NO (normally open) ו-NC (normally closed).
- 7.3. תפקידי הממסר.
- 7.4. שילוב ממסר חשמלי במעגל פניאומטי. פתרון בעיית פיקוד כפול בעזרת ממסר חשמלי. הפעלת מספר בוכנות במקביל.

**8. שילוב בקר PLC במעגל פניאומטי**

- 8.1. אוטומציה קשיחה ואוטומציה גמישה. יתרונות של אוטומציה גמישה. מבוא לבקרים מתוכנתים. כניסות ויציאות של בקר.
- 8.2. מבוא לשפות תכנות של בקרים מתוכנתים.
- 8.3. שילוב בקר מתוכנת במעגל פניאומטי.
- 8.4. הפעלת מעגל אוטומטי מחזורי בעזרת בקר מתוכנת.

**מעבדה להידראוליקה**

9. הכרת הציוד והמכשור של מעבדה ותפעולם. הדגמות הפעלת הציוד/מכשור. הנחיות וכללי בטיחות. מבנה של דו"ח מעבדה ודרישות להגשתו

**10. מדידת התנגדויות (הפסדים) בצנרת**

- 10.1. הכרת אביזרי צנרת ותפקידם.
- 10.2. הכרת מכשירי מדידה המשמשים בצנרת – מדי לחץ ומדי ספיקה.
- 10.3. התנגדות לזרימה בצנרת.

**11. אפיון משאבה**

- 11.1. קביעת אפיון של משאבה צנטריפוגלית באופן מעשי.

**12. מדידת מהירות וספיקת הזורם – צינור פיטו**

- 12.1. משוואת ברנולי. צינור פיטו – מבנה ואופן פעולה.
- 12.2. מדידה מעשית של מהירות הזורם בעזרת צינור פיטו. חישוב ספיקה על סמך הפרמטרים הנמדדים.

13. **כיוול מד לחץ**
- 13.1. הכרת מד לחץ מסוג בורדון (bourdon). רגישות ודיוק של מד לחץ.
- 13.2. כיוול מעשי של מד לחץ מסוג בורדון.

**ציוד ומכשור הנדרשים להעברת הקורס במעבדה \***

- ✓ מדחס ומערכת טיפול באוויר
- ✓ לוח פניאומטי הכולל:
  - 3 בוכנות דו-כיווניות
  - 3 שסתומי הפעלה 5/2 פיקוד אוויר-אוויר
  - 6 שסתומי פיקוד 3/2
  - מפסק ידני להפעלת המעגל
  - חותכי אות
  - רכיבי עזר לבניית מעגל קסקדה (שסתומים 5/2, סעפת)
  - 3 שסתומי הפעלה 5/2 פיקוד חשמלי
  - חיישני קרבה
  - בקר PLC
  - צנרת ואביזרי חיבור הנדרשים.
  - ✓ תוכנת מחשב לתכנון בקרי PLC.
  - ✓ מתקן לאפיון משאבה (צנטריפוגלית).
  - ✓ מתקן למדידת הפסדים בצנרת.
  - ✓ מתקן למדידת מהירות וספיקת הזורם, כולל צינור פיטו ונחיר.
  - ✓ מד לחץ Bourdon ומתקן כיוול.

**\*הערה:**

ניתן להשתמש בציוד/מכשור חלופי העומד לרשות המכללה אשר מאפשר ביצוע ניסויים לפי תכנית זו.

**תקנים**

IEC 61131-3 Programming languages for programmable control systems.  
ISO 1219-1 Graphic symbols for pneumatic equipment.

## מבוא לחשמל

שנה א' 80 שעות

סה"כ 80 שעות

### ראשי פרקים

- |         |  |
|---------|--|
| 3 שעות  | 1. מושגי יסוד בתורת החשמל                    |
| 5 שעות  | 2. מתח וזרם.                                 |
| 6 שעות  | 3. תלות התנגדות בפרמטרים של המוליך. חוק אוהם |
| 8 שעות  | 4. חיבור נגדים בטור ובמקביל.                 |
| 6 שעות  | 5. חוקי קירכהוף במעגלים בעלי חוג אחד         |
| 6 שעות  | 6. הספק ואנרגיה חשמליים                      |
| 3 שעות  | 7. יישומים שונים                             |
| 8 שעות  | 8. קבל במעגלי זרם ישר                        |
| 9 שעות  | 9. פריקה וטעינה של קבל, קבוע זמן             |
| 8 שעות  | 10. אותות ומערכות                            |
| 18 שעות | 11. זרם חילופין                              |

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

### הקדמה ומטרות

חשמל ואלקטרוניקה הם התשתית להבנת פעולות החומרה האלקטרונית אשר מהווה נדבך מרכזי במערכות מכטרוניות.  
לימוד תכני החשמל מחייב במידה רבה מחשבה מופשטת, היות ומדובר בתופעות פיזיקאליות (כגון הזרם החשמלי) שאינן נתפסות בחושינו.  
המטרה המרכזית של התוכנית היא שהתלמיד ירגיש ביטחון בהבנת המושגים הבסיסיים הקשורים לתורת החשמל. זאת, מבלי להעמיק יתר על המידה בנושאים הדורשים כישורים מתמטיים גבוהים, כלומר הדגש הוא על הרחבת בסיס הידע ולא העמקתו.  
ההנחה היא שבמידה ותלמיד ירגיש צורך להעמיק, בעזרת ספרות או קורסי עזר, תהיה לו תשתית של "השפה" הנדרשת.

הקורס כולל את החלקים הבאים:

הכרה רחבה של מושגי יסוד בתורת החשמל, כגון מטען, זרם, מתח, הספק, עם הצצה קלילה למבנה האטום.  
רכיבים בסיסיים, כגון נגדים, קבלים ומשרנים. דגש על הבנת מערכות יישומיות, כגון מיישרים, מגברים, מעגלי הפעלה למנועי זרם ישר, ומעגלי הספק מבוססי תריסטורים.  
זרם חילופין. דגש על היתרונות בייצור, בהעברה ובצריכת אנרגיה בצורה זו.

### מתודולוגיית למידה:

הרצאה פרונטלית בשילוב של ניסויים במעבדה (מעבדת מבוא לחשמל) להדגמת הנושא הנלמד. שילוב דוגמאות בעזרת תוכנות הדמיה ושימוש ברשת האינטרנט שילוב תרגול בכיתה בעזרת דפי עבודה לגישור פערים ברמות של התלמידים

### תפוקת למידה:

עם סיום הקורס בהצלחה הסטודנט:

1. יסביר את אופן פעולתם של תריסטורים שונים ומעגלים שונים שמבוססים עליהם.
2. יבצע חישובים שונים במעגלים אלו.

### מיומנויות:

1. יכולת למידה עצמית
2. יכולת חשיבה יצירתית
3. יכולת פתרון בעיות
4. יכולת הסקת מסקנות

**פרוט התכנים (הנושאים) :**

שעות	נושאי הלימוד
3	<p>1. <b>מושגי יסוד בתורת החשמל</b></p> <p>1.1. תופעות הקשורות במטען חשמלי</p> <p>1.2. מבנה האטום, פרוטונים, נויטרונים, אלקטרונים, קליפות, אלקטרונים חופשיים, מוליכים ומבודדים</p>
5	<p>2. <b>מתח זרם.</b></p> <p>2.1. זרם כקצב תנועת מטענים, חישוב המטען העובר בזמן נתון מידיעת הזרמים. זרם ממוצע, גרפים לתיאור הקשר זרם – מטען – זמן</p> <p>2.2. מושג המתח בהקשר של ריכוזי מטענים ואנרגיה ליחידת מטען</p> <p>2.3. פוטנציאל חשמלי, מתח כהפרש פוטנציאלים, הגדרת האדמה כפוטנציאל אפס</p>
6	<p>3. <b>תלות התנגדות בפרמטרים של המוליך. חוק אוהם</b></p> <p>3.1. הגדרת התנגדות מוליך כיחס בין מתח לזרם, גרפים מתח-זרם של נגד ליניארי.</p> <p>3.2. חוק אוהם ויישומו בנגדים.</p> <p>3.3. תלות ההתנגדות של מוליך בפרמטרים – אורך, שטח חתך, התנגדות סגולית, טמפרטורה.</p> <p>3.4. הגדרת המוליכות כיחס זרם למתח של מוליך.</p>
8	<p>4. <b>חיבור נגדים בטור ובמקביל.</b></p> <p>4.1. מעגל בחיבור מקבילי. מאפייני מעגל מקבילי.</p> <p>4.2. חיבור מקבילי של נגדים. מציאת נגד שקול במקרה הכללי, במקרה של שני נגדים, במקרה של N נגדים שווים.</p> <p>4.3. מעגל טורי. מאפייני מעגל טורי.</p> <p>4.4. חיבור טורי של נגדים. מציאת נגד שקול. במקרה הכללי. במקרה של N נגדים שווים.</p> <p>4.5. חלוקת זרמים בין נגדים בחיבור מקבילי. חלוקת מתחים בין נגדים בחיבור טורי.</p> <p>4.6. חיבור מעורב של נגדים, שניתן לפרקו לחיבור טורי/מקבילי או להיפך</p>

6	<p>5. חוקי קירכהוף במעגלים בעלי חוג אחד</p> <p>5.1. הגדרת צומת, ענף וחוג במעגל חשמלי.</p> <p>5.2. חוק קירכהוף לזרמים בצומת (חוק מס' 1)</p> <p>5.3. חוק קירכהוף למתחים (חוק מס' 2 של קירכהוף) במעגל בעל חוג אחד ומקור מתח אחד.</p> <p>5.4. הרחבה למעגל בעל חוג אחד בו מספר מקורות מתח. הבחנה בין מקור מתח "צרכן אנרגיה" לבין מקור מתח "מקור אנרגיה" למעגל.</p>
6	<p>6. הספק ואנרגיה חשמליים</p> <p>6.1. מושגי אנרגיה והספק. חוק שימור האנרגיה. אנלוגיה למכאניקה.</p> <p>6.2. אנרגיה שמקור מספק כמכפלת המתח במטען שעובר בו. וההספק כמכפלה של מתח בזרם</p> <p>6.3. הספק בצרכן, כמכפלת מתח בזרם.</p> <p>6.4. מחיר האנרגיה הנצרכת המונחים של קילו-וואט-שעה והקשר למדידת האנרגיה בג'אולים.</p>
3	<p>7. יישומים שונים</p> <p>7.1. פוטנציומטר לוויסות מתח בצרכנים.</p> <p>7.2. גשר ויטסטון.</p>
8	<p>8. קבל במעגלי זרם ישר</p> <p>8.1. קבל כרכיב אוגר אנרגיה, והקשרים – מתח, קיבול, מטען, אנרגיה</p> <p>8.2. מבנה קבל לוחות, הפרמטרים המשפיעים על קיבולו</p> <p>8.3. חיבור קבלים בטור, חישובי קיבול שקול, מציאת מטען ואנרגיה בכל קבל.</p> <p>8.4. חיבור קבלים במקביל, חישובי קיבול שקול, מציאת מטען ואנרגיה בכל קבל.</p> <p>8.5. חיבור קבלים מעורב. חישובי קיבול שקול, מציאת מטען ואנרגיה בכל קבל.</p>
9	<p>9. פריקה וטעינה של קבל, קבוע זמן</p> <p>9.1. תיאור עקרוני של מהלך של טעינת קבל במעגל RC טורי במקרה בו הקבל אינו טעון מלכתחילה. הגדרת "מצב מתמיד" ו"תופעת המעבר".</p> <p>9.2. מתח זרם במהלך הטעינה בקבל ובנגד הטורי – תיאור גרפי ומשוואה אנליטית. השפעת קבוע הזמן על זמני הטעינה.</p> <p>9.3. תיאור עקרוני של מהלך פריקת קבל במעגל RC טורי. הגדרת "מצב מתמיד" ו"תופעת המעבר".</p> <p>9.4. מתח זרם במהלך הפריקה בקבל ובנגד הטורי – תיאור</p>

	גרפי ומשוואה אנליטית. השפעת קבוע הזמן על זמני הפריקה.
8	<p><b>10. אותות ומערכות</b></p> <p>10.1. הגדרת אות כגודל פיזיקאלי מייצג מידע, מתמרים, דוגמאות (מיקרופון, רמקול) אותות ספרתיים ותקביליים.</p> <p>10.2. אותות מחזוריים ושאינם מחזוריים. הגדרת מחזור ותדר באות מחזורי.</p> <p>10.3. אותות סינוסואידליים – גדלים אופייניים – תדר, זמן מחזור, מתח שיא לשיא, משרעת (אמפליטודה), פאזה, מתח ממוצע. תיאור אנליטי לאות סינוסואידלי כללי.</p> <p>10.4. הספק ממוצע באות מחזורי – הגדרה, מתח יעיל (לאות סינוסואידלי שערכו הממוצע אפס)</p>
18	<p><b>11. זרם חילופין</b></p> <p>11.1 תיאור גרפי ואנליטי של משתנים בזמן.</p> <p>11.2 פעולות חשבון במספרים מרוכבים.</p> <p>11.3 ייצוג פולארי וקרטיזי של מתח וזרם חילופין.</p> <p>11.4 ייצוג פאזורי של מתח וזרם חילופין.</p> <p>11.5 מעבר מצורה רגעית לצורה פאזורית.</p> <p>11.6 היגב ומניחות קיבולי והשראותי. ייצוג באמצעות מספרים מרוכבים.</p> <p>11.7 תלות ההיגב והמניחות בתדר.</p> <p>11.8 חיבור טורי, מקבילי ומעורב של רכיבים. חישוב עכבה שקולה ומתירות שקולה, חישובי זרמים ומתחים.</p> <p>11.9 דיאגרמה פאזורית של מתחים וזרמים במעגלים טוריים ומקביליים.</p> <p>11.10 חישובי הספקים : פעיל, היגבי ומדומה</p> <p>11.11 משולש הספקים ונגזרותיו.</p> <p>11.12 מעגל תהודה טורי : תדר התהודה, גורם ההספק, גורם הטיב.</p> <p>11.13 תכונות מעגל תהודה – שימושים</p>

### ספרות עזר בעברית

1. מוקדי ת' ואחרים, "תורת החשמל – רמה בסיסית" כרכים א+ב, הוצאת מט"ח
2. אינג' ח. גירון תורת החשמל, כרך א' וכרך ב'

## מעבדה במבוא לחשמל

שנה א'	32 שעות
סה"כ	32 שעות

### ראשי פרקים

1. הכרת המעבדה	3 שעות
2. הכרה ותפעול של מכשור מעבדתי בסיסי	5 שעות
3. פירוט ניסויים	24 שעות

### הקדמה ומטרות:

מעבדה לחשמל מהווה חלק מעשי ומשלים לקורס עיוני במבוא לחשמל (מקצוע חובה). מומלץ להעביר את המעבדה בסמסטר שני של שנת הלימודים הראשונה, לאחר לימוד של חלקו הראשון של הקורס העיוני במקצוע. במסגרת המעבדה יתנסו הסטודנטים בחומר התיאורטי שלמדו בקורס עיוני במבוא לחשמל, ירכיבו מעגלים חשמליים בסיסיים ויבצעו מדידות, תוך הפעלה ושימוש במכשירים בסיסיים כמו: ספק כוח, רב מודד, מחולל אותות ואוסצילוסקופ. בעריכת הניסויים ישתמשו הסטודנטים בלוח מטרצה. שיעורי מעבדה ייערכו במעבדה בסיסית לחשמל ואלקטרוניקה בקבוצות של עד 14 סטודנטים. בגמר כל ניסוי יגישו הסטודנטים דו"ח טכני מפורט על מהלך הניסוי ותוצאותיו.

### מתודולוגיית למידה:

ניסויים והדגמות במעבדה לאלקטרוניקה וחשמל. שילוב דוגמאות בעזרת תוכנות הדמיה (כדוגמת Multisim ודומות). שימוש בדפי נתונים של מכשור המעבדה.

### תפוקת למידה:

עם סיום לימוד המעבדה הסטודנט:

1. יבנה מעגלים חשמליים בסיסיים.
2. יפעיל מכשירי מדידה במעבדה.
3. ימדוד פרמטרים שונים ( זרם, מתח ועוד ) במעגלים וישווה אותם עם תוצאות החישוב.
4. יכין דו"ח מעבדה מפורט.

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

### מיומנויות:

1. יכולת חשיבה יצירתית.
2. יכולת למידה עצמית ועבודה בצוות.
3. יכולת ניתוח תוצאות.
4. יכולת הסקת מסקנות.

### פרוט התכנים (הנושאים):

1. הכרת המעבדה 3 ש'

הכרת המעבדה. כללי עבודה, בטיחות ועזרה ראשונה.  
הכרת ציוד מעבדה וכלי עבודה. הכרת מטריצת החיבורים.  
דיווח טכני על הניסויים.
2. הכרה ותפעול של מכשור מעבדתי בסיסי 5 ש'

הדגמה של תפעול המכשירים הבאים:  
רב מודד (Multimeter) אנלוגי וספרתי, ספק כוח מעבדתי,  
מחולל אותות, משקף תנודות.  
הכרת עקרון פעולה ומפרט טכני של המכשירים. תרגול הסטודנטים  
בהפעלה נכונה של המכשירים תוך שימוש בכבלים ומחברים מתאימים.
3. פירוט ניסויים 24 ש'

כל ניסוי יתחיל בהכנת דוח מכין, דרך ביצוע המדידות והבדיקות  
ויסתיים בהגשת דוח מסכם.  
הרכיבים בניסויים יורכבו על גבי המטריצה ויחוברו למכשור המעבדה.  
נושאים לניסוי:  
1. זיהוי נגדים לפי קוד צבעים. ערכים נקובים (התנגדות, פיזור הספק, דיוק)  
2. חוק אוהם - הקשר בין מתח וזרם להתנגדות חשמלית.  
3. זרם ישר - חיבור התנגדויות בטור, במקביל ובמעורב - חישוב התנגדות שקולה, חישוב  
זרמים, מפלי מתח והספקי פיזור על נגדים במעגלים הכוללים התנגדויות בטור,  
במקביל ובמעורב.  
4. מחלקי מתח וזרם. שימוש בפוטנציומטר כנגד משתנה (חיבור ריאוסטטי וחיבור  
פוטנציומטרי).  
5. ערכים נקובים של מכשירי מדידה - תחום מדידה, דיוק, רגישות:  $\Omega / v$ , לינאריות.  
שיטות מדידה - ישירה ועקיפה. מדידת זרם ומתח - צורת חיבור המודדים במעגל,  
הרחבת תחום מדידה של מד-זרם באמצעות מיצד (שאנט), הרחבת תחום מדידה של  
מד-מתח באמצעות חיבור התנגדות טורית.  
6. קבלים - בניית מעגל טעינה - פריקה בסיסי של נגד וקבל עם אות מבוא ריבועי. הצגת  
אות המתח על הקבל.  
7. זרם חילופין - שימוש במשקף תנודות ובמחולל אותות. חיבור רכיבים במעגל זרם  
חילופין.

## מערכות ספרתיות

שנה א'	32 שעות
שנה ב'	32 שעות
סה"כ	64 שעות

### ראשי פרקים

2 שעות	1. מבוא למערכות ספרתיות
6 שעות	2. שיטות ספירה וקודים
12 שעות	3. יסודות האלגברה הבוליאנית
8 שעות	4. פונקציות בוליאניות ופישוטן.
6 שעות	5. תיכון לוגי באמצעות שערים שונים
8 שעות	6. רכיבים ספרתיים נפוצים (צירופיים)
8 שעות	7. מושגים במערכות עקיבה והתקני זיכרון (פליפ פלופים)
8 שעות	8. יישומים נפוצים של התקני זיכרון
6 שעות	9. מכונת מצבים (State Machine)

### הקדמה ומטרות

המקצוע "מערכות ספרתיות" מהווה מקצוע בסיסי עבור מגמת מכטרוניקה ומקנה ידע חשוב בהכרת המבנה ובהבנת עקרון הפעולה של חומרה ספרתית. כמו כן המקצוע נותן כלים להבנה ולפתרון של בעיות לוגיות בהם ייתקלו הסטודנטים במקצועות כמו בקרים מתוכנתים, רובטיקה ומערכות תנועה ומערכות מכטרוניות.

### מתודולוגיית למידה:

הרצאה פרונטלית בשילוב של ניסויים במעבדה (מעבדת אלקטרוניקה תעשייתית) להדגמת הנושא הנלמד. שימוש בתוכנות סימולציה לתכנון בוליאני כדוגמת Multisim ובתוכנות "חינמיות" שניתן למצוא ברשת, כדוגמת Logisim. שילוב תרגול בכיתה בעזרת דפי עבודה לגישור פערים ברמות של התלמידים.

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

### תפוקת למידה:

עם סיום הקורס בהצלחה הסטודנט:

1. יסביר את אופן פעולתם של רכיבים אלקטרוניים שונים ומעגלים המבוססים עליהם.
2. יבצע חישובים שונים במעגלים אלו.

### מיומנויות:

1. יכולת למידה עצמית
2. יכולת חשיבה יצירתית
3. יכולת פתרון בעיות
4. יכולת הסקת מסקנות

### פרוט התכנים (הנושאים):

#### **מבוא למערכות ספרתיות - 2 ש'**

הגדרת מערכת ספרתית (Digital System), תכונות מערכת ספרתית לעומת מערכת תקבילית (Analog System), יתרונות של מערכת ספרתית בהשוואה למערכת תקבילית

#### **שיטות ספירה וקודים - 6 ש'**

הגדרת המושגים ספרה ומספר, הגדרת שיטות ספירה, ספירה עם מספרים בבסיסים שונים: עשרוני, בינארי, אוקטאלי והקסהדצימלי. המרת מספרים (שלמים) מבסיס לא עשרוני לעשרוני ומבסיס עשרוני לבסיסים לא עשרוניים. (לשים דגש על בסיסים 2, 8 ו-16). המרה ישירה מהירה של מספרים שלמים ושברים בין הבסיסים 2, 8 ו-16. קוד GRAY וחשיבותו ומעבר בינו ובין ייצוג בינארי. קוד BCD וחשיבותו ומעבר בינו ובין ייצוג עשרוני ובינארי

#### **יסודות האלגברה הבוליאנית - 12 ש'**

הגדרת הפעולות היסודיות של האלגברה הבוליאנית: OR, AND ו- NOT. מימוש פעולות אלו באמצעות מתגים. הכרת השערים לביצוע פעולות אלו. ביטויים בוליאניים, והסדר לביצוע פעולות בוליאניות. טבלאות אמת, צורות להצגה ומימוש של פונקציה בוליאנית: מכפלת סכומים וסכום מכפלות. ביטויים קנוניים, שיטות סימון מקוצרות של ביטויים קנוניים. מעבר מטבלת אמת לביטויים קנוניים ולהפך.

מימוש פונקציה לוגית באופן קנוני מתוך טבלת אמת באמצעות שערי OR, AND ו- NOT. פתרון בעיות לוגיות מילוליות. מימוש פונקציה לוגית לבעיה לוגית מילולית ללא שימוש בטבלת אמת.

#### **פונקציות בוליאניות ופישוטן - 8 ש'**

שימוש בכללי צמצום באופן אלגברי. הבעייתיות של צורת צמצום זו. שימוש במפות קרנו (2, 3, 4, 5 משתנים) לקבלת סכום מכפלות מינימאלי או מכפלת סכומים מינימאלי. שימוש בפונקציה ההפוכה כאמצעי צמצום ובחירה של הקוטביות האופטימאלית מבין השתיים. ניצול דרגת החופש שנוצרת כתוצאה מהצירופים האדישים (Don't Care) במפת קרנו לקבלת צמצום יעיל.

#### **תיכון לוגי באמצעות שערים שונים - 6 ש'**

שימוש בשערי NAND ו- NOR כמערכת שלמה, שימושי בשערי XOR ליישומים חשובים כמו: גילוי זוגיות, הפיכת קוטביות, השוואה (XOR עם יציאה הפוכה), קוד Gray, וכדומה.

### רכיבים ספרתיים נפוצים (צירופיים) - 8 ש'

רכיבים לקידוד וניתוב מידע: מפענח (Decoder) כמתרגם בין קוד בינארי וקוד ישיר. Decoder עם כניסת אפשר (Enable). מקודד בינארי. מקודד עדיפויות - Priority Encoder כמתרגם הפוך מקוד ישיר לקוד בינארי. הרחבה של הרכיבים הנ"ל באמצעות חיבור שלהם במבנה של "עץ". בורר Multiplexer ומפלט De-Multiplexer. הרחבה של הרכיבים הנ"ל באמצעות חיבור שלהם במבנה של "עץ". שימוש ברכיב Multiplexer למימוש של פונקציה לוגית. רכיבים אריתמטיים: מחבר מודולרי לסיבית אחת (One bit adder או Full Adder). משוה בינארי

### מושגים במערכות עקיבה והתקני זיכרון (פליפ פלופים) - 8 שעות

מערכת צירופית בהשוואה למכונת מצבים (מבנה של משוב, והתנהגות של זיכרון או מרוץ). מבנה ועקרון פעולה של נועל - Latch. טבלת מצבים וטבלת מעברים של התקני זיכרון. הקבלה למעגל החזקה עצמית בפיקוד ממסרים. נועל מבוקר שעות Gated Latch או D-Latch. הצגת הבעייתיות של סגירת משוב צירופי סביב רכיב זיכרון כזה, כאשר אות שעות כולל פולס רחב (היווצרות מרוצים). שימוש במעגלי גזירה או בדלגלג מסוג Master Slave לפתרון הבעיה. סוגי פליפ-פלופים: SR, D, T ו-JK, טבלת מצבים וטבלת עירור, מבנה וסימון לוגי. חישוב של תדר שעות מקסימלי של מערכת עם פליפ-פלופים.

### יישומים נפוצים של התקני זיכרון - 8 שעות

מבנה ועיקרון פעולה של הרכיבים הבאים: מונים אסינכרוניים, מונים כמחלקי תדר, מונים סינכרוניים, אוגרים מקביליים, אוגרי הזזה, אוגר כללי (אוניברסאלי): הזזה ימינה, הזזה שמאלה, טעינה במקביל ושמירת מצב.

### מכונת מצבים (State Machine) - 6 שעות

שלבי התיכון של מכונת מצבים סינכרונית באופן כללי (ולא מקרים פרטיים שנדונו עד לשלב זה): דיאגרמת מצבים, טבלת מצבים, הקצאת מצבים, טבלת מעברים, בחירת פליפ-פלופים, טבלת עירור ומימוש המערכת הצירופית.

## ספרות מומלצת בעברית:

## מבוא לתכנות

שנה א' 32 שעות

סה"כ 32 שעות

### ראשי פרקים

1. הכרת אלגוריתם ותרשים זרימה 2 שעות
2. הגדרת תוכנית מחשב ומרכיביה: קלט, פלט ועיבוד 1 שעות
3. הכרות עם סביבת העבודה 1 שעות
4. פעולות עיבוד נתונים, פעולות חשבון ושימוש באופרטור השמה 3 שעות
5. פונקציות בוליאניות ועבודה עם סיביות 3 שעות
6. קליטת ועיבוד נתונים 3 שעות
7. משפט תנאי פשוט 4 שעות
8. משפט תנאי מורכב 4 שעות
9. משפט תנאי מקונן 4 שעות
10. שימוש בלולאות 4 שעות
11. שימוש ברשימות 3 שעות

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

### הקדמה ומטרות

הנושא נלמד במעבדת מחשבים. דגש מושם על שימוש בתרשימי זרימה לאפיון ופתרון בעיות. בכל תרגיל יידרש פתרון עם תרשים זרימה. ניתן להשתמש בשפות תכנות שונות לפי הרצוי למכללה: שפת C, שפת Visual C, שפת Python ושפות דומות. מבוא לתכנות מהווה בסיס לשימוש במקצועות שיילמדו בהמשך, רובוטיקה ובקרת תנועה, מערכות מכטרוניות ובקרים מתוכנתים.

### מתודולוגיית למידה:

תרגול מעשי במעבדה. תרגול מודרך ותרגול חופשי בבית.

### תפוקת למידה:

עם סיום הקורס בהצלחה הסטודנט:

1. יכיר את עקרונות התכנות.
2. יכתוב תוכניות בסיסיות באחת מהשפות הנלמדות.

### מיומנויות:

1. יכולת למידה עצמית
2. יכולת חשיבה יצירתית
3. יכולת פתרון בעיות
4. יכולת הסקת מסקנות

## רכיבים ומתמרים

שנה ב'	96 שעות
סה"כ	96 שעות

### ראשי פרקים

12 שעות	1. הגדרות של מדידות והתמרות
10 שעות	2. מתמרים
16 שעות	3. מדידת כוח, משקל, תאוצה, מהירות ומיקום
10 שעות	4. מדידות טמפרטורה
10 שעות	5. מקודדים אופטיים
10 שעות	6. חיישני קירבה
11 שעות	7. מדידות פיזיקליות נוספות
9 שעות	8. חיבור למערכת בקרה ספרתית
8 שעות	9. מפעילים

### הקדמה ומטרות

מכשירי הבקרה מקשרים בין העולם הווירטואלי של המחשב ובין העולם הפיזי בו נמצא התהליך המבוקר. את המכשור מחלקים לכן לשתי קטגוריות: חיישנים המעבירים מידע מהעולם הפיזי למחשב, מפעילים המעבירים מידע מהמחשב לעולם הפיזי.

המכשור לבקרה מיוצר על ידי יצרנים שונים. תפקידו של איש מכטרוניקה לבחון את מידת ההתאמה שלהם למערכת על סמך מפרט טכני של היצרן (דף הנתונים) והכרת המערכת. טווח השיקולים חייב לכלול שיקולים הנדסיים, טכנולוגיים, כלכליים ועוד.

בין מטרות הקורס:

הכרת מושגי היסוד, הכרת רכיבי המדידה לפי עקרון מדידה פיזיקלי, מטרת השימוש ברכיב, מבנה הרכיב, אופן פעולתו והשווה לרכיבים דומים

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

### מתודולוגיית למידה:

הרצאה פרונטלית בשילוב של ניסויים במעבדה (מעבדה ברכיבים ומתמרים) להדגמת הנושא הנלמד.

בכל הרצאה יש להדגיש את הקשר בין העקרונות הפיזיקליים השונים של המדידה ובין מבנה ואופן הפעולה של המכשיר. יש להדגיש, יתרונות חסרונות, מידת התאמה לאפליקציה. כאמור, מומלץ מאד להשתמש בדפי יצרן data sheet (באנגלית) עבור כל אחד מהרכיבים בהם דנים.

### תפוקת למידה:

עם סיום הקורס בהצלחה הסטודנט:

1. יבין את מגוון מכשור המדידה הקיים ואת עיקרון פעולתו.
2. יידע לבחור מכשור מתאים בהתאם לדפי נתוני יצרן
3. יידע לבחור את הטכנולוגיה המתאימה ביותר לשימוש במערכת.

### מיומנויות:

1. יכולת למידה עצמית
2. יכולת טכנית לבחון מערכת טכנולוגית
3. יכולת לפתרון בעיות
4. יכולת הסקת מסקנות

**פרוט התכנים (הנושאים) :**

שעות	נושאי הלימוד	
<b>12</b>	<b>הגדרות של מדידות והתמרות</b>	<b>1</b>
2	תפקיד מערכות המכשור במערכות מכטרוניות. חשיבות תקנים בממשקי תת המערכות	1.1
2	מבנה מערכת מידות SI <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ הגדרת גדלים בסיסיים.</li> <li>▪ הגדרת ערכים פיזיקליים הנגזרים מהם.</li> </ul>	
4	תחומי אותות מוצא תקניים של מכשירי מדידה. שימוש באות מוצא זרם מול אות מוצא מתח, הגבר (רגישות), כושר הבחנה (כושר הפרדה)- רזולוציה	1.3
4	שגיאות מדידה נפוצות. דיוק, חזרתיות, חשל (היסטרזיס), קוויות והתאמה (לינאריות וקונפורמיות)	1.4
<b>10</b>	<b>מתמרים</b>	<b>2</b>
2	נגד משתנה מבנה אופן פעולה. סוגים וחומרים, חישובי רגישות	2.1
3	מתמר קיבולי הגדרת קבל לוחות ופרמטרים המשפיעים על הקיבול, שימושים ואופן פעולה איכותי, שגיאות חזרתיות וחשל	2.2
3	מתמר השראתי הגדרת הסליל וגורמים המשפיעים על ההשראות, שימושים ואופן פעולה איכותי, שגיאות חזרתיות וחשל	2.3
2	נגד רגיש לאור LDR שימושים ואופן פעולה	2.4
<b>16</b>	<b>מדידת כוח, משקל, תאוצה, מהירות ומיקום</b>	<b>3</b>
3	חשיבות מדידת כוח תאוצה מהירות ומיקום במערכות מכטרוניות. דוגמאות למערכות מכטרוניות בהן מודדים כוח, תאוצה, מהירות ומיקום, הקשר האנליטי בין ארבעת המשתנים, יחידות המידה של המשתנים ומשמעותן	3.1
4	מדידת כוח, משקל ותאוצה בעזרת מד מעוות. שימוש בגשר ויטסטון להגברת אות המוצא, הסבר יתרונות בשימוש בגשר ויטסטון כמעגל מדידה .	3.2
3	מדידת תאוצה מבוססת על מדידת כוח ומדידת תזוזה של רכיב גמיש. חישוב מהירות והעתק על סמך תאוצה.	3.3
3	מדידת מהירות בעזרת טכוגנרטור טכוגנרטור מתח ישר ומתח חליפין, תחום מת, עקרון פעולה, חישוב מהירות והעתק.	3.4
3	שנאי הפרשי LVDT עקרון פעולה של שנאי, הקטנת חשל.	3.5

10	<b>מדידות טמפרטורה</b>	4
1	סולמות למדידת טמפרטורה המרת יחידות, הבדל בין חום (אנרגיה) וטמפרטורה.	4.1
5	חיישנים המבוססים על שינוי בהתנגדות (RTD) הכרת נגד פלטינה תקני Pt100, הכרת תרמיסטור, שימוש בגשר ויטסטון להגברת אות המוצא, שימוש במגבר חוצץ לבטל העמסת מעגל.	4.2
4	חיישנים המבוססים על אפקט סיבק - צמד תרמי עקרון פעולה, סוגים תקינים של צמדים טרמיים. (J, T, K)	4.3
10	<b>מקודדים אופטיים</b>	5
5	מקודד אינקרמנטלי מבנה ואופן מדידה של מיקום זוויתי ומהירות זוויתית. אופן קביעת כיוון הסיבוב לפי סדרת פולסים נתונה.	5.1
5	מקודד אבסולוטי מבנה ואופן מדידה של מיקום זוויתי	5.2
10	<b>חיישני קירבה</b>	6
4	חיישני קירבה קיבוליים ( הסבר התופעה ואופן הפעולה)	6.1
4	חיישני קירבה השראתיים/ מגנטיים ( הסבר התופעה ואופן הפעולה)	6.2
2	גלאי קירבה מסוג אינפרה אדום, גלאי קירבה אולטרה סוניים	6.3
11	<b>מדידות פיזיקליות נוספות</b>	7
5	<b>מדידות לחץ ותת לחץ</b> מושגי יסוד וסיווג לחצים : אטמוספרי, מוחלט וכדומה. שימוש במדי לחץ למדידת מפלס וספיקה. מדידת לחץ המתבססת על עמוד נוזל- מנומטר מדידת לחץ בעזרת רכיבים גמישים- דיאפראגמה, מפוח, צינור בורדון מדידת לחץ בשיטה חשמלית- מד עיבור, גביש פיאזואלקטרי, LVDT	7.1
6	<b>מדידות ספיקה (זרימה)</b> מושגי יסוד, סוגי זרימה, חוק ברנולי וחוק הרציפות מדידות על עיקרון הפרש לחצים (ונטורי), צינור פיטו, שבשבת (פולסים), מדידות זרימה לפי עיקרון אלקטרומגנטיות ומדידות לפי עיקרון אולטרה סוני	7.2

9	חיבור למערכת בקרה ספרתית	8
1	מרכיבי מערכת בקרה מבוקרת מחשב, תיאור מלבני	7.1
4	מתמר A/D. מבנה עקרוני, חישוב הגבר וכושר הבחנה. השפעת מספר הסיביות על גורמים אלו	7.2
4	מתמר D/A. מבנה עקרוני, חישוב הגבר וכושר הבחנה השפעת מספר הסיביות על גורמים אלו	7.3
<b>מפעילים</b>		
8		9
2	ממסר מכני. סוגים, מבנה, אופן פעולה.	8.1
2	ממסר מצב מוצק. שימושים עיקריים, יתרונות וחסרונות ביחס לממסר מכני.	8.2
4	שיטות ואמצעים לוויסות. ויסות הספק בעזרת PWM, בקרה על פעולת מנוע DC בעזרת גשר H	8.3

**ספרי לימוד מומלצים:**

1. מיטלמן יוסף, מכשור לבקרת תהליכים. הוצאת אורט.
2. ד"ר רפי יהל, מערכות מחשוב ובקרה. הוצאת האוניברסיטה הפתוחה

## מעבדה ברכיבים ומתמרים

שנה ב'	32 שעות
סה"כ	32 שעות

### ראשי פרקים

1. ניסויים ברכיבים ומתמרים 32 שעות

### הקדמה ומטרות

במעבדה לרכיבים ומתמרים הסטודנט ייחשף למגוון רחב של חיישנים ומתמרים, מתחום המדידות התהליכיות (לחץ, טמפרטורה, ספיקה וכדומה) ומתחום בקרת התנועה/ סרבו (מהירות, תאוצה, מיקום וכדומה).  
הסטודנט יזהה את הרכיבים, יבין את אופן פעולתם והשימוש בהם בעזרת דפי נתוני הניצרון, נתם, יפעיל את המערכות ויכיל אותן

### מתודולוגיית למידה:

ניסויים במעבדה (מעבדה ברכיבים ומתמרים) לתפעול, התקנה וכיול של חיישנים ומתמרים. שימוש במפרטים טכניים של הציוד הנלמד. זיהוי אופן חיבור החיישנים למערכות בקרה ספרתיות ולבקרים מתוכנתים.

### תפוקת למידה:

עם סיום הקורס בהצלחה הסטודנט:

1. יבין את עקרון פעולתם של חיישנים ומתמרים
2. יידע לכייל אותם ולהתאימם לתהליך
3. יידע לשלב אותם בחוגי בקרה שונים.

### מיומנויות:

1. יכולת למידה עצמית
2. יכולת לנתח דפי ניצרון (באנגלית)
3. יכולת והבנה טכנית
4. יכולת פתרון בעיות
5. יכולת הסקת מסקנות

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

**פרוט התכנים (הנושאים) :**

32	מעבדה ברכיבים ומתמרים	1
4	ניסויים בחיישני קירבה, בעלי אות מוצא דיגיטלי ואנלוגי	1.1
4	ניסויים במקודדים אופטיים ואבסולוטיים	1.2
4	ניסויים בחיישני טמפרטורה מסוג RTD וצמד תרמי	1.3
4	ניסויים במתמרים/ משדרים בעלי מוצא זרם תקני (2/3/4 Wire) 4-20mA	1.4
4	ניסויים במד מעוות למדידת משקל וכוח	1.5
4	ניסויים במתמר מסוג LVDT	1.6
4	ניסויים בהפעלת ממסר, ממסר מצב מוצק	1.7
4	ניסויים בשיטות ויסות, ויסות מהירות מנוע בשיטת PWM	1.8

מומלץ שהניסויים יבוצעו על מערכות פיזיות (Skids) הכוללות חיישנים מסוגים שונים.  
יש לאפשר לסטודנטים להתנסות בהתקנה נכונה של החיישנים ובכיוולם.

## מערכות בקרה

שנה ב' 96 שעות

סה"כ 96 שעות

### ראשי פרקים

1. מבוא למערכות בקרה ודיאגרמות מלבנים 7 שעות
2. מערכות פיגור מסדר ראשון 12 שעות
3. מערכות פיגור מסדר שני 14 שעות
4. בקרים תעשייתיים 24 שעות
5. מבוא ליציבות מערכות בקרה 14 שעות
6. קריטריון ראוט (Routh) 14 שעות
7. שגיאות במערכת הבקרה 11 שעות

### הקדמה ומטרות

המקצוע מערכות בקרה מציג לסטודנט בעיות בסיסיות הקשורות לוויסות ובקרה של תהליכים פיסיקליים המוכרים לו מסביבתו הקרובה, ודרך מובנית לחקירתן, פתרוןן ויישומן. הקורס כולל את החלקים הבאים:

הכרת מושגי היסוד הקשורים למערכות בקרת תהליכים, הבנת העקרונות הבסיסיים שעל פיהם פועלות מערכות לבקרת תהליכים, הכרה בסיסית ויישום של שיטות מתמטיות הנדרשות במערכות בקרת תהליכים, הכרה ויישום של שיטות לניתוח ביצועים של מערכות בקרת תהליכים.

### מתודולוגיית למידה:

הרצאה פרונטלית בשילוב של ניסויים במעבדה (מעבדת במערכות בקרה) להדגמת הנושא הנלמד. שילוב דוגמאות בעזרת תוכנות הדמיה ושימוש ברשת האינטרנט. ניתן להשתמש בתוכנות בעלות מודולים מתאימים כדוגמת Matlab או LabView. שילוב תרגול בכיתה בעזרת דפי עבודה לגישור פערים ברמות של התלמידים

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

### תפוקת למידה:

עם סיום הקורס בהצלחה הסטודנט:

1. יסביר את עקרון מערכות הבקרה בחוג סגור ואת פעולתם של בקרי התהליך.
2. יבצע ניתוחים, חישובים וכיול במערכות אלו.

### מיומנויות:

1. יכולת למידה עצמית
2. יכולת חשיבה יצירתית
3. יכולת פתרון בעיות
4. יכולת הסקת מסקנות

**פרוט התכנים (הנושאים) :**

שעות	נושאי הלימוד
<b>7</b>	<b>1 מבוא למערכות בקרה ודיאגרמות מלבנים</b>
4	1.1 מושגי יסוד: מערכת, מערכת בקרה, אילוף, תגובה, מערכת בקרה בחוג סגור. מתן דגש על משתני התהליך המבוקר: בקר, אלמנט בקרה סופי, תהליך, חיישן ומתמר.
1	1.2 סימונים מוסכמים בדיאגרמות מלבנים: מלבן, חץ, נקודת צומת, נקודת סיכום.
2	1.3 תיאור מערכות בקרה הפועלות בחוג סגור ובחוג פתוח בעזרת דיאגרמות מלבנים תוך מתן דגש על תפקידו של כל מלבן בתהליך המבוקר
<b>12</b>	<b>2 מערכות פיגור מסדר ראשון</b>
2	2.1 הגבר סטטי וקבוע הזמן כמאפיינים של פיגור מסדר ראשון.
2	2.2 נוסחת תגובת פיגור מסדר ראשון לאילוף מדרגה בזמן. תיאור גרפי של התגובה.
2	2.3 מערכת לבקרת מפלס. תגובת מפלס וספיקה יוצאת לאילוף בספיקה נכנסת
2	2.4 מערכת לבקרת טמפרטורה ללא זרימה. תגובת טמפרטורה פנימית לשינוי בהספק החום ובטמפרטורת הסביבה.
4	2.5 התמרת לפלס של פיגור מסדר ראשון לאילוף מדרגה במבוא. הצגת צורה קנונית של פונקציית התמסורת במישור לפלס, הסבר על משמעות הצורה הקנונית.
<b>14</b>	<b>3 מערכות פיגור מסדר שני</b>
4	3.1 מאפייני פיגור מסדר שני: הגבר סטטי, מקדם ריסון, תדר טבעי, תגובת יתר (overshoot), תדירות דינמית, זמני התייצבות
2	3.2 מערכת המורכבת משני פיגורים מסדר ראשון בטור ניתוח כמותי במישור לפלס ניתוח איכותי במישור הזמן
2	3.3 ניתוח מערכת פיזיקלית מסה קפיץ מרסן. תגובת תזוזה לאילוף בהפעלת כוח.
3	3.4 אנלוגיה חשמלית למערכת מסדר שני באמצעות מערכת סליל נגד קבל

3	3.5	ניתוח גרף תגובה של מערכת מסדר שני במישור הזמן לאילוץ מדרגה מתן דגש על מקרה של <b>תת ריסון</b> הסבר על הגורמים האופייניים כגון: תגובת היתר, תגובה דינמית, זמני התייצבות
---	-----	--

24	4	בקרים תעשייתיים
3	4.1	משוואת בקר יחסי במישור הזמן ומישור לפלס
3	4.2	תגובת פיגור מסדר ראשון עם בקר P.
3	4.3	משוואת בקר אינטגרלי במישור הזמן ומישור לפלס
3	4.4	משוואת בקר PI במישור הזמן ומישור לפלס
3	4.4	תגובת פיגור מסדר ראשון עם בקר PI.
3	4.5	משוואת בקר נגזרתי במישור הזמן ומישור לפלס
3	4.5	משוואת בקר PD במישור הזמן ומישור לפלס
3	4.5	משוואת בקר PID במישור הזמן ומישור לפלס
3	4.6	תגובת פיגור מסדר ראשון עם בקר PID.
3	4.7	תגובות בקרים לאילוץ מדרגה בחוג פתוח.
3	4.8	תגובות בקרים לאילוץ שיפוע בחוג פתוח.

14	5	מבוא ליציבות מערכות בקרה
2	5.1	ניתוח תגובת מערכת אינטגרטור המחובר בטור לפיגור מסדר שני עם בקרי PID.
2	5.2	תיאור גרפי איכותני (לא כמותי) של תגובת מערכת זו שינוי משתני הבקר והשפעתם על תגובת המערכת.

3	כניסות הלם ושיפוע למערכות בקרה. התמרת לפלס של אילוצים אלו.	5.3
3	הגדרת קריטריון היציבות.	5.4
2	משוואה אופיינית של מערכת	5.5
2	מיקום השורשים כתנאי ליציבות	5.6
<b>14</b>	<b>קריטריון ראוט (Routh)</b>	<b>6</b>
2	עקרונות לשימוש בקריטריון ראוט וטבלת ראוט	6.1
2	ניתוח תחומי יציבות של מערכות שונות בעזרת קריטריון ראוט	6.2
3	מציאת הגברים של בקר יחסי שעבורם המערכת יציבה	6.3
4	בדיקת יציבות של מערכות בחוג פתוח בעזרת קריטריון ראוט	6.4
3	שיפור יציבות מערכות בעזרת בקרים	6.5
<b>11</b>	<b>שגיאות במערכת הבקרה</b>	<b>7</b>
2	תיאור כניסת מדרגה, ריצה ותאוצה	7.1
2	קביעת סוג המערכת לפי מס' האינטגרטורים בחוג הפתוח	7.2
3	חישוב שגיאת המצב המתמיד לפי מקדמי שגיאה ולפי סוג המערכת	7.3
4	משפט הערך הסופי. חישוב שגיאה במצב מתמיד לפי משפט הערך הסופי	7.4

### ספרות עזר בעברית

1. קופייקיס מיכאל, מערכות בקרה דוגמאות ותרגילים הוצאת אורט.
2. בהיר זאב ולוי אבי, בקרת תהליכים, הוצאת אורט.
3. פויאר אריה, בקרה ליניארית, הוצאת האוניברסיטה הפתוחה.

## מעבדה במערכות בקרה

שנה ב' 32 שעות

סה"כ 32 שעות

### ראשי פרקים

1. ניסויים במערכות בקרה 32 שעות

#### הקדמה ומטרות

במעבדה למערכות בקרה הסטודנט ייחשף למערכות בקרה תעשייתיות מתחום הבקרה התהליכית ומתחום בקרת התנועה/ סרבו. הסטודנט יזהה את מרכיבי המערכות, ייעזר בדפי נתוני יצרן להבנתם, ילמד לתפעל את המערכות ולכיל אותן לפעולה מיטבית.

#### מתודולוגיית למידה:

ניסויים במעבדה (מעבדה במערכות בקרה) לתרגול, הרצה וכיול של מערכות בקרה תהליכית. שימוש במפרטים טכניים ודוגמאות יישום (Application notes) של הציוד הנלמד (יצרן). שימוש בתוכנות עזר לאפיון וכיול של המערכות.

#### תפוקת למידה:

עם סיום הקורס בהצלחה הסטודנט:

1. יבין את עקרון מערכות הבקרה בחוג סגור ואת פעולתם של בקרי התהליך
2. יידע להרכיב חוגי בקרה לתהליכים פיזיקליים שונים
3. יידע לכייל חוגי בקרה באחת מהשיטות המקובלות.

#### מיומנויות:

1. יכולת למידה עצמית
2. יכולת לנתח דפי יצרן (באנגלית)
3. יכולת והבנה טכנית
4. יכולת פתרון בעיות
5. יכולת הסקת מסקנות

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

פרוט התכנים (הנושאים) :

32	ניסויים במערכות בקרה	1
	ניסויים בהפעלת מערכות בחוג סגור	1.1
	השוואה בין בקרים דו מצביים (ON OFF) לבין בקרים רציפים	1.2
	הפעלה בעזרת בקר P בלבד	1.3
	הפעלה בעזרת בקר PI בלבד	1.4
	הפעלה בעזרת בקר PID בלבד	1.5
	שיטות לכיול של בקרים (זיגלר וניקולס, לדוגמה) ושימוש בתכונת כיול עצמי (Auto tune) של בקרים תעשייתיים	1.6
	הפעלת פונקציית בקרה (PID) בעזרת בקר מתוכנת	1.7
	ניסויים בשיטות ויסות, ויסות מהירות מנוע בשיטת PWM	1.8

מומלץ שהניסויים יבוצעו על מערכות בקרה תהליכית – עמדות פיזיות (Skids) עם ציוד בקרה ומדידה תעשייתית.

ניתן להשתמש בנוסף בתוכנות עזר להדמיה ולחישובים כדוגמת Matlab, Simulink. כמו כן ניתן להשתמש בתוכנת Labview ובחומרה מתאימה.

## בקרים מתוכנתים וממשק אדם מכונה

שנה א'	32 שעות
שנה ב'	64 שעות
סה"כ	96 שעות

### ראשי פרקים

מבוא	1.	2 שעות
מבנה הבקר	2.	2 שעות
אופן פעולת הבקר	3.	2 שעות
שפות התכנות של הבקר.	4.	12 שעות
הכרת פונקציות תוכנה של הבקר	5.	16 שעות
הכרת חומרת הבקר	6.	12 שעות
הכרת הבקר הנלמד	7.	6 שעות
שימוש בתוכנת התכנות לבקר	8.	6 שעות
כתיבת יישומים לבקר	9.	12 שעות
הכרת תוכנת ממשק אדם- מכונה	10.	16 שעות
תקשורת תעשייתית	11.	10 שעות

### הקדמה ומטרות

הנושא נלמד במסגרת מעבדה לבקרים מתוכנתים. במעבדה עמדות הכוללות בקר מתוכנת מדגם כלשהו, מחשב לתכנות, תוכנת תכנות לבקר, תוכנת ממשק אדם מכונה (HMI או SCADA), פאנל HMI. רצוי להשתמש בבקר שפועל בתקשורת אתרנט. מומלץ ורצוי להשתמש בנוסף לבקר, בתוכנות סימולציה לפי תקן IEC-61131 כדוגמת תוכנת CoDeSys (תוכנה חינמית). דגש יינתן ללימוד בקר מתוכנת תעשייתי ושפות התכנות המקובלות בתעשייה (רצוי תואמות לתקן IEC).

שימוש בכרטיסי פיתוח כדוגמת Arduino ו-Raspberry Pie **לא מומלץ** למקצוע זה. ניתן לעשות בהם שימוש במסגרת לימוד המקצועות רובטיקה ו/ או מערכות מכטרוניות.

**דרישות קדם:** קורס במערכות ספרתיות.

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

### מתודולוגיית למידה:

תרגול מעשי במעבדה בשילוב הרצאה פרונטלית.

### תפוקת למידה:

עם סיום הקורס בהצלחה הסטודנט:

1. .
2. יבצע

### מיומנויות:

1. יכולת למידה עצמית
2. יכולת חשיבה יצירתית
3. יכולת פתרון בעיות
4. יכולת הסקת מסקנות

### פרוט התכנים (הנושאים):

#### **מבוא - 2 ש'**

מערכת בקרה מבוקרת בקר מתוכנת, יישומים (בקרת מכונות, בקרה תהליכית, בקרת מבנים וכדומה), יתרונות שימוש, אותות בהם מטפל הבקר (דיגיטלי ואנלוגי), אפיון לפי מספר I/O.

#### **מבנה הבקר - 2 ש'**

מבנה חיצוני (מודולרי מול קשיח, כרטיסי הרחבה), מבנה פנימי (מעבד, זיכרון, קלט-פלט).

#### **אופן פעולת הבקר - 2 ש'**

סריקה מחזורית של התוכנה, זמן סריקה, זמני תגובה בין קלט לפלט.

#### **שפות התכנות של הבקר - 12 ש'**

תקן IEC-61131 לתכנות בקרים מתוכנתים, הכרת שפות התקן: דיאגרמת סולם, שפת בלוקים, שפת Structure Text, שפת פקודות מילוליות ושפת תרשימי זרימה. מומלץ לתת דגש לשפת דיאגרמת סולם ושפת Structure Text.

הכרת בסיס הנתונים של הבקר, מבנה זיכרון נתונים: Bit, Byte, Word, Double Word, Long, Word, סוגי נתון (Format): Integer, Float (Real), Time וכדומה.

#### **הכרת פונקציות תוכנה של הבקר - 16 ש'**

פונקציות "ממסרים" לטיפול בכניסות ויציאות, פונקציות זמן ומנייה, פונקציות פיקוד, פונקציות מתמטיות, פונקציות המרת נתונים, פונקציות לטיפול בכניסות ויציאות אנלוגיות, פונקציות בקרה בחוג סגור (PID) וכדומה.

#### **הכרת חומרת הבקר - 12 ש'**

סוגי כרטיסי I/O לבקר, כרטיסי כניסה ויציאה דיגיטליים, שיטות חיבור (Source, Sink), מתחי עבודה וזרמים, כרטיסי כניסה ויציאה אנלוגיים, כרטיסי זרם וכרטיסי מתח, אותות תקינים בכרטיסים אנלוגיים, חיבור ציוד קצה לכרטיסי הבקר, חיבור חיישני קירבה, חיבור חיישני טמפרטורה, חיבור משדרי זרם (Two wire) 4-20Ma. שימוש בספק כוח חיצוני לבקר, בחירה ואפיון לפי צריכת הזרם של הכרטיסים ושל ציוד הקצה. הכרת דפי הנתונים של חומרת הבקר, זיהוי והכרת המונחים באנגלית.

### הכרת הבקר הנלמד- 6 ש'

שימוש במפרט טכני של הבקר ושימוש ב- Manual של היצרן, מצבי העבודה של הבקר-  
Run/Stop, תכנות הבקר ב- Online.

### שימוש בתוכנת התכנות לבקר- 6 ש'

הכרת ממשק התכנה, הגדרת תצורה של הבקר שבשימוש (קונפיגורציה), שימוש בעורכי התוכנית השונים, בדיקת תוכנה קיימת (קומפילציה), העברת תוכנית אל הבקר ומהבקר, שימוש בטבלאות מעקב (Monitor/ Status) ביצוע אילוצים (Force).  
תיעוד מלא של תוכנית על ידי כתיבת כינויים לכל המשתנים והסברים על כל שלב בתוכנית.

### כתיבת יישומים לבקר- 12 ש'

כתיבת תוכניות לפי תפ"מ (תיאור פעולות מערכת) נתון, זיהוי כמות וסוג הכניסות והיציאות, שימוש נכון בפונקציות הבקר.  
כתיבת תוכנית לבקרה בחוג סגור עבור חוג בקרה תהליכית כלשהו (מומלץ טמפרטורה).

### הכרת תוכנת ממשק אדם- מכונה- 16 ש'

הכרת ההבדל בין HMI ו- SCADA (שימוש בפאנלים מול שימוש בתוכנת על גבי המחשב), הכרת הכלים העיקריים של התוכנה, בחירת דגם בקר והגדרת משתנים, שרטוט גרפי לתמונה ואנימציה, בניית דוחות אירועים ותקלה, בניית גרפים (זמן אמת), שימוש במתכונים, הפקת דוחות ודומה.

### תקשורת תעשייתית- 10 ש'

עקרונות התקשורת, שימוש בתקשורת טורית בתקנים RS-232/ RS-485, מאפייני התקנים, תקשורת אתרנט, מאפייני תקשורת אתרנט, מודל 7 שכבות (באופן בסיסי בלבד).  
הכרת פרוטוקול תקשורת, פרוטוקולים נפוצים: Modbus, Profibus, Profinet, I/O Link  
וכדומה, שימוש בפרוטוקולים לתקשורת בין בקר לבקר, בקר ליחידות מרוחקות, בקר ל- HMI.  
חיבור חיישנים לבקר בתקשורת (בניגוד לחבור דרך כרטיסי I/O).

## ספרות מומלצת בעברית:

.1

## רובוטיקה ומערכות בקרת תנועה

48 שעות  
48 שעות

שנה ב'  
סה"כ

### הקדמה ומטרה

מעבדה לרובוטיקה זהו מקצוע משלים לקורס עיוני ברובוטיקה ומערכות משולבות, והוא נלמד במקביל אליו. המעבדה מאפשרת לפתח לסטודנטים את כישורי חשיבה הנדסיים מגוונים, כמו חשיבה לוגית ויצירתית, חשיבה אלגוריתמית, ויכולת פרקטית לראות וליישם קשר בין תחומי הנדסה שונים כמו מכניקה, חשמל, בקרה ואלקטרוניקה בפיתוח מערכות משולבות. במסגרת המעבדה יתנסו הסטודנטים בהפעלת זרוע רובוטית רב-שימושית, בהרכבת מערכות רובוטיות משולבות ובתכנות תנועתן. הם יכירו מערכות ראייה ושמיעה ממוחשבות, חיישנים דיגיטליים ואנלוגיים כמרכיבים של מערכות מורכבות אותן הם יתכננו, ירכיבו ויפעילו, תוך שימוש במחשב באמצעות תוכנה שיכתבו בשפת הקודים.

מטרת המעבה – להעניק לסטודנטים ניסיון מעשי ראשוני בתכנון, בניה והפעלת מערכות מכניות משולבות אלמנטים של בקרה ורכיבים אלקטרוניים הנשלטות ע"י מחשב.

שיעורי מעבדה זו ייערכו במעבדה ייחודית לרובוטיקה ומערכות משולבות בקבוצות של עד 15 סטודנטים לכל היותר. למטרות פתרון בעיות מעשיות, ביצוע תרגילים ומשימות תכנון והרכבת המערכות, תחולק הכיתה לקבוצות קטנות של 2-3 סטודנטים, ובגמר כל תרגיל/משימה שיוגדרו ע"י מדריך מעבדה, יגישו סטודנטים דו"ח מפורט ויצגו מודל פועל של המערכת.

מעבדה לרובוטיקה ומערכות משולבות, כמו גם קורס עיוני במקצוע זה, הינו קורס בחירה אשר עפ"י החלטה של כל מכללה יכול להיות מוחלף בלימוד מקצוע חלופי, אך זאת בהתאם לתקנות מה"ט.

### תפוקת למידה

עם סיום קורס מעבדה לרובוטיקה ומערכות משולבות, הסטודנט:

- 1 יבין את הקשר בין מודל מכני לתנועה של הרובוט באמצעות בקר.
- 2 יבין את הקשר של הרובוט לסביבה החיצונית באמצעות חיישנים.
- 3 ירכוש ניסיון ראשוני בתכנון ובניה של מערכות מכניות משולבות.
- 4 יכיר את הטכנולוגיות המתקדמות השימושיות בבניית מכונות.

### מיומנויות

- 1 יכולת חשיבה יצירתית ולוגית.
- 2 יכולת הבנת מערכות מורכבות.
- 3 יכולת פתרון בעיות.
- 4 יכולת עבודה בצוות.
- 5 יכולת ניתוח קבלת החלטות.

### ציוד ומכשור מומלצים למעבדה

- ערכת רובוטיקה (מומלץ 2 ערכות לסטודנט אחד) הכוללת: בקר מסך מגע, מצלמת, USB מערכת עיבוד תמונה, חיישני אור דיגיטליים, חיישני אור אנלוגיים, חיישני מגע, חיישני טמפרטורה, חיישני צבע, חיישני מרחק, חיישני אינפרה-אדום, חיישני מגנטיות, חיישני גיירו, חיישני תאוצה ומצפן, תוכנות להפעלת רובוט.
- זרועה רובוטיות משולבת רב-שימושית בעלת 5 דרגות חופש ויכולת הדפסה תלת ממדית, צריבה בלייזר, כתיבה וציור, יניקת ואקום ותפסן פניאומטי (זרוע 1 לסטודנט).
- מדפסות תלת ממד.
- מחשב לכל סטודנט.

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

## פירוט נושאי לימוד, תרגילים ומשימות\*

1. הכרת המעבדה .  
הכרת הציוד והמכשור במעבדה.  
הנחיות וכללי בטיחות. הנחיות אודות דיווח טכני במעבדה.
2. מבוא לרובוטיקה  
2.1 מושגי יסוד.  
2.2 היכרות עם בקר הרובוט.  
2.3 היכרות עם סביבת תכנות הרובוט.
3. חיישנים  
3.1 חיישנים דיגיטליים, חיישנים אנלוגיים.  
3.2 בניית דגם מייבש ידיים.  
3.3 תכנות בסביבת תוכנת הרובוט.
4. הוספת מנורה לרובוט  
4.1 בניית דגם רמזור.  
4.2 תכנות בסביבת תוכנת הרובוט.
5. בניית תתי תכניות בסביבת תוכנת הרובוט  
5.1 בניית דגם מחסום חשמלי.  
5.2 תכנות בסביבת תוכנת הרובוט.
6. סוגי הנעות, מנוע הרובוט  
6.1 בניית דגם מכונית.  
6.2 הפעלת מנועי הרובוט - ביצוע מגוון סוגי נסיעות.  
6.3 תכנות בסביבת תוכנת הרובוט.
7. הוספת חיישנים רבים למכונית  
7.1 הוספת חיישן אור למכונית וחישוב מספר צעדים לנסיעת מרחק ידוע.  
7.2 הוספת חיישני מגע לרובוט לשם זיהוי פגיעה במכשולים בדרך.  
7.3 הוספת חיישן מרחק האולטרה-סוני והשמעת צליל בהתקרב למכשול.  
7.4 הוספת חיישן צבע למכונית ותנועה על הפס השחור.  
7.5 תכנות בסביבת תוכנת הרובוט.
8. בניית ממשק משתמש חדש  
8.1 הוספת חלון מצלמה אליו תשדר המצלמה בזמן ריצה.  
8.2 תכנות בסביבת תוכנת הרובוט.
9. הפעלת זרוע רובוטית מודולרית  
9.1 תנועה של זרוע במרחק. בקרה על המיקום והשמה של אובייקטים.  
9.2 החלפת ראשים של הזרוע המאפשרת הדפסת תלת ממד, חריטת לייזר, שרטוט וציור.  
9.3 תכנות בסביבת תוכנת הרובוט.

\*ניתן להחליף תרגילים ומשימות תכנון במעבדה עפ"י החלטת כל מכללה בהתאם לציוד ומכשור המוצבים במעבדה ולפי שיקולים מקצועיים של המדריך.

## הינע חשמלי

שנה ב'	32 שעות
סה"כ	32 שעות

### ראשי פרקים

2 שעות	1. מבוא להינע חשמלי
6 שעות	2. מכניקה של מערכות הינע
4 שעות	3. משוואת התנועה
5 שעות	4. בלימה חשמלית
5 שעות	5. התנעת מנועים חשמליים וקביעת זמני התנעה/ עצירה
5 שעות	6. ויסות מהירות סיבוב של מנועים חשמליים
5 שעות	7. קביעת ההספק במערכות הינע חשמלי

### הקדמה ומטרות

מטרת הקורס לחבר בין הצד המכני והצד החשמלי (ההינע) של מערכת מכטרונית.

הקורס מאפשר להכיר את המבנה ועיקרון הפעולה של מנועים חשמליים, מנועי זרם ישר, מנועי זרם חילופין, מנועי צעד. מעגלי ויסות של מנועים חשמליים, שיטות התנעה של מנועים. בחירה של מנועים חשמליים לפי יישום. סבסיום הקורס הסטודנט יידע לבחור את המנוע המתאים למערכת המכנית כלשהי ואת ציוד הבקרה הנדרש עבורו.

### מתודולוגיית למידה:

הרצאה פרונטלית בשילוב של ניסויים והדגמות במעבדה להינע חשמלי, להדגמת הנושא הנלמד. שילוב דוגמאות בעזרת תוכנות הדמיה ושימוש ברשת האינטרנט שימוש בדפי נתונים ובדפי יצרן/ קטלוגים של מנועים ומערכות הינע

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

### תפוקת למידה:

עם סיום הקורס בהצלחה הסטודנט:

1. יידע לבחור את המנוע הנדרש לפי האפיונים המכניים והחשמליים.
2. יידע להגדיר את ציוד הפיקוד והבקרה הנדרש לבחירה.

### מיומנויות:

1. יכולת למידה עצמית
2. יכולת ניתוח וחיבור מערכות מורכבות
3. יכולת פתרון בעיות
4. יכולת הסקת מסקנות

### פרוט התכנים (הנושאים):

1. **מבוא להינע חשמלי 2 ש'**  
מבנה עקרוני של מערכת הינע חשמלית הפועלת כמנוע ו/או כבלם, מנגנון מכני (מכניזם), מערכת בקרת תנועה
2. **מכניקה של מערכות הינע 6 ש'**  
אופיינים מכניים של מנגנונים מכניים שונים ושל מנועים חשמליים (קשר בין מהירות הסיבוב לבין המומנט, עומסים). התאמת המנוע למנגנון ואפיון הביצועים של מערכת הבקרה.  
מציאת נקודת עבודה משותפת למנוע חשמלי ולמנגנון מכני באמצעות האופיינים המכניים.  
התאמת סוג המנוע החשמלי לדרישות ההינע של מנגנון המכני.  
מערכות הינע בעלות מנוע חשמלי יחיד ומערכות מרובות מנועים. שיקולים בבחירת מנוע חשמלי והשוואה למערכת בקרת תנועה
3. **משוואת התנועה 4 ש'**  
כוחות ומומנטים סטטיים ודינמיים במערכת הינע, בתנועה קווית וזוויתית. משוואות התנועה במערכות הינע. הגדרת מומנט התמדה (אינרציה) ומומנט תנופה. העברת (שיקוף) מומנטים לציר יחיד (של המנוע). העברת כוחות סטטיים ודינמיים ומסות מתנועה קווית לסיבובית.
4. **בלימה חשמלית 5 ש'**  
סוגי בלימה, בלימה דינמית
5. **התנעת מנועים חשמליים וקביעת זמני התנועה/ עצירה 5 ש'**  
התנאים הדרושים להתנעה תקינה. תגובת המנוע במהלך ההתנעה עד להתייצבות על מהירות סיבוב סופית. התלות של מהירות הסיבוב הסופית באופיין המכני של העומס על הציר.  
התנעת מנוע השראתי באמצעות מתנע רך או וסת מהירות אלקטרוני (התנעה המבוססת על בקרת זרם ויחס מתח לתדירות). מגוון אפשרויות הבקרה על תהליך ההתנעה בשיטה זו.  
התנעת מנוע לזרם ישר באמצעות וסת מהירות אלקטרוני (התנעה המבוססת על בקרת זרם).

6. **ויסות מהירות סיבוב של מנועים חשמליים 5 ש'**  
ויסות מהירות אלקטרומכני במנוע לזרם ישר ובמנוע השראתי  
ויסות מהירות אלקטרוני במנוע לזרם ישר על ידי יישור מבוקר של זרם חילופין, שימוש  
בממיר DC/DC ממותג, בקרת-פעולה (Duty-cycle) ואיפנון רוחב פולס (PWM).  
ויסות מהירות אלקטרוני במנוע השראתי על ידי שינוי מתח ותדירות.

7. **קביעת ההספק במערכות הינע חשמלי 5 ש'**  
משטרי עבודה של מנועים חשמליים: עבודה רצופה, עבודה מקוטעת ועבודה קצרה.  
סימונים בשלט המנוע, זמן עבודה וזמן עבודה יחסי. הטמפרטורה המרבית המותרת  
במנוע ותלותה בסוג הבידוד. מנגנוני החימום ומנגנוני הקירור של מנוע חשמלי.  
שיקולים בבחירת ההספק הנומינלי של מנוע חשמלי. קבוע זמן חימום של מנוע חשמלי  
והשפעת טמפרטורת הסביבה כמדדים ליכולתו לעמוד בעומס יתר (לזמן קצר). מומנט  
ההתנעה ומשך תהליך ההתנעה.

### רשימת ספרות עזר

1. אלכסנדרוביץ, א' (1973). הנע חשמלי. חיפה: מכלול.
2. רוזנבלום, ו' (1986). אלקטרוניקה תעשייתית. תל אביב: אורט ישראל.
3. Crowder, R (2006). Electric Drives and Electromechanical Systems. Oxford: Elsevier.
4. Ralph J. Smith, Richard C. Dorf (2009). Circuits, Devices and Systems, 5<sup>th</sup>. Ed. India :Wiley. ISBN 8126511036

## מעבדה בהינע חשמלי

שנה ב' 32 שעות

סה"כ 32 שעות

### ראשי פרקים

1. ביצוע התנעה של מנועים חשמליים וקביעת זמני התנעה/ עצירה 5 שעות
2. ווסתי תדר ומתנעים רכים 20 שעות
3. חיבור ווסתי תדר לציוד בקרה 7 שעות

### הקדמה ומטרות

מטרת הקורס לתרגל בחירה, הגדרת קונפיגורציה והפעלה של ציוד הנעה למנועים. הקורס מאפשר להכיר את המבנה ועיקרון הפעולה של ווסתי התדר והמתנעים תוך שימוש נרחב בדפי יצרן ובקטלוגים. בסיום הקורס הסטודנט יידע להגדיר בצורה נכונה את הפרמטרים הנדרשים לכיוון ווסת תדר למנוע

### מתודולוגיית למידה:

הרצאה פרונטלית בשילוב של ניסויים והדגמות במעבדה להינע חשמלי, להדגמת הנושא הנלמד. שילוב דוגמאות בעזרת תוכנות הדמיה ושימוש ברשת האינטרנט שימוש בדפי נתונים ובדפי יצרן/ קטלוגים של מנועים ומערכות הינע

### תפוקת למידה:

- עם סיום הקורס בהצלחה הסטודנט:
1. יידע לבחור את המנוע הנדרש לפי האפיונים המכניים והחשמליים.
  2. יידע להגדיר את ציוד הפיקוד והבקרה הנדרש לבחירה.

### מיומנויות:

1. יכולת למידה עצמית
2. יכולת ניתוח וחיבור מערכות מורכבות
3. יכולת פתרון בעיות
4. יכולת הסקת מסקנות

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

**פרוט התכנים (הנושאים) :**

1. **ביצוע התנעה של מנועים חשמליים וקביעת זמני התנעה/ עצירה 5 ש'**  
הכרת התנאים הדרושים להתנעה תקינה.  
התנעת מנוע השראתי באמצעות מתנע רך או וסת מהירות אלקטרוני (התנעה המבוססת על בקרת זרם ויחס מתח לתדירות). מגוון אפשרויות הבקרה על תהליך ההתנעה בשיטה זו.  
התנעת מנוע לזרם ישר באמצעות וסת מהירות אלקטרוני (התנעה המבוססת על בקרת זרם).
2. **ווסתי תדר ומתנעים רכים 20 ש'**  
אפיון ועיקרון עבודה של ווסתי תדר. הכרת מפרטי יצרן ודפי נתונים. בחירת ווסתים.  
ווסת תדר מול מתנע רך (יתרונות וחסרונות). תכנות וסת תדר להפעלת מנוע ים במערכות הינע. חיבור וסת תדר בתקשורת לציוד בקרה (PLC, HMI וכדומה).
3. **חיבור ווסתי תדר לציוד בקרה 7 ש'**  
חיבור וסת תדר בתקשורת לציוד בקרה הכולל בקר מתוכנת, פאנל ממשק אדם מכונה וכדומה. אפיון התקשורת (סריאלית או אתרנט)

**רשימת ספרות עזר**

מפרטי יצרן של ציוד ההינע  
דפי נתונים של המנועים בשימוש

## אלקטרוניקה ואלקטרוניקה תעשייתית

שנה ב'	64 שעות
סה"כ	64 שעות

### ראשי פרקים

8 שעות	1. דיודות - מבנה, אופיין, מודלים
3 שעות	2. דיודות מיוחדות
5 שעות	3. מגברים ליניאריים
8 שעות	4. מגבר שרת
5 שעות	5. טרנזיסטורים כמתג
2 שעות	6. ממסר אלקטרו-מגנטי
5 שעות	7. מנוע לזרם ישר
4 שעות	8. גשר H
4 שעות	9. רכיבי בקרת הספק (תיריסטורים)
4 שעות	10. טרנזיסטור חד-צמתי (UJT)
4 שעות	11. טרנזיסטור חד צמתי מתוכנת (PUT)
4 שעות	12. מעגלי בקרת הספק
6 שעות	13. ניתוח פעולתם של מעגלי בקרת הספק
2 שעות	14. עקרונות בקרת הספק במעגלים תלת-פאזיים

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

### הקדמה ומטרות

תוכנית הלימודים מתרכזת בהבנת עקרונות פעולתם של מעגלים בסיסיים ורכיבים אופייניים הקיימים בתחומי האלקטרוניקה התקבילית, תעשייתית וספרתית ובתחום ההינע החשמלי מתוך כוונה להשלים ולהעמיק את הבסיס שניתן בתחומי החשמל והאלקטרוניקה.

בין מטרות התוכנית: הכרת מושגי יסוד ועקרונות פעולה של רכיבים ומעגלים תקביליים (אנלוגיים) והכרת מושגי יסוד ועקרונות פעולה של רכיבי בקרת הספק ומעגלי אלקטרוניקה תעשייתית.

### מתודולוגיית למידה:

הרצאה פרונטלית בשילוב של ניסויים במעבדה (מעבדת אלקטרוניקה תעשייתית) להדגמת הנושא הנלמד.

שילוב דוגמאות בעזרת תוכנות הדמיה (כדוגמת Multisim) ושימוש ברשת האינטרנט שילוב תרגול בכיתה בעזרת דפי עבודה לגישור פערים ברמות של התלמידים

### תפוקת למידה:

עם סיום הקורס בהצלחה הסטודנט:

1. יסביר את אופן פעולתם של רכיבים אלקטרוניים שונים ומעגלים המבוססים עליהם.
2. יבצע חישובים שונים במעגלים אלו.

### מיומנויות:

1. יכולת למידה עצמית
2. יכולת חשיבה יצירתית
3. יכולת פתרון בעיות
4. יכולת הסקת מסקנות

**פרוט התכנים (הנושאים) :**

8	<p><b>1. דיודות - מבנה, אופיין, מודלים</b></p> <p>1.1. מושג הדיודה כרכיב לא ליניארי בעל אופיין מתח זרם ייחודי, הגורם להולכה בכיוון אחד ולנתק בכיוון השני.</p> <p>1.2. הדגמת פעולת דיודות במעגלי זרם ישר</p> <p>1.3. מימוש דיודה על ידי מוליך למחצה וצומת PN (תיאור איכותי בלבד). אופיין מתח זרם של דיודה מעשית. מודל הדיודה האידיאלית כקירוב. הצגה של מודל מקור מתח קבוע.</p> <p>1.4. מעגל יישור חד דרכי ללא קבל. השפעת הוספת הקבל. ניתוח איכותי עבור קבוע זמן שונים. צורות הגל במבוא ובמוצא. הבחנה בין רכיב המתח הישר לאדווה.</p> <p>1.5. מיישר דו דרכי (גשר דיודות) ללא קבל. השפעת תוספת קבל. השוואה למיישר חד דרכי.</p>
3	<p><b>2. דיודות מיוחדות</b></p> <p>2.1. דיודת זנר כמייצב מתח. אופיין מתח זרם של זנר אידיאלית. ייצוב מתח של חיבור טורי של זנר ונגד מול תנודות במתח המקור.</p> <p>2.2. דיודה פולטת אור (LED) והפעלה ממגבר שרת</p> <p>2.3. פוטו דיודה, אופן הפעולה. חיבורה כמבוא למערכת השוואה עם מגבר שרת.</p>
5	<p><b>3. מגברים ליניאריים.</b></p> <p>3.1. מושג ההגבר. מעגל תמורה של מגבר הכולל התנגדות מבוא, מקור מתח תלוי מתח והתנגדות מוצא. מגבר אידיאלי עם התנגדות מבוא אינסופית והתנגדות מוצא אפסית.</p> <p>3.2. הספקים ונצילות במגבר.</p>
8	<p><b>4. מגבר שרת</b></p> <p>4.1. מבנה בסיסי של מגבר שרת בעל שלושה הדקים. מבנה בעל חמישה הדקים, בהזנה ממקור אחד ומשני מקורות מתח.</p> <p>4.2. תכונות של מגבר מעשי ואידיאלי.</p>

	<p>4.3 אופיין תמסורת של מגבר אידיאלי. עבודה כמשווה.</p> <p>4.4 מגבר הופך. מגבר עוקב, מגבר יחידה.</p> <p>4.5 מסכם משקלל הופך.</p>
5	<p>5. טרנזיסטורים כמתג</p> <p>5.1 טרנזיסטור דו-קוטבי. מבנה עקרוני PNP ו-NPN. הגדרת הדקים – פולט, קולט, בסיס. הגבר הזרם. מתח דיודה בסיס-פולט. תחומי הולכה- פעיל, קיטעון, רוויה. עבודה כמתג בין קיטעון לרוויה.</p> <p>5.2 טרנזיסטור MOSFET. מבנה עקרוני N-Channel ו-P-Channel. התנגדות בהולכה. פעולה כמתג.</p>
2	<p>6. ממסר אלקטרו-מגנטי</p> <p>6.1 מבנה עקרוני של ממסר עם מתג אחד. מעגל הפעלת ממסר הכולל טרנזיסטור. הצורך בדיודת הגנה.</p> <p>6.2 הגדרת הדקים – NO, NC, COM. מבנים שונים כגון DPDT, SPDT.</p>
5	<p>7. מנוע לזרם ישר</p> <p>7.1 מבנה עקרוני של מנוע לזרם ישר – סליל עירור, עוגן, קומוטטור. חיבורים – זר, מקבילי טורי. שליטה בכיוון הסיבוב על ידי היפוך חיבורי העוגן או העירור.</p> <p>7.2 הפעלת מנוע על ידי מתג טרנזיסטורי או על ידי ממסר. הצורך בשימוש בדיודת הגנה.</p> <p>7.3 הפעלה מבוקרת של מנוע בשיטת אפנון רוחב דופק.</p>
4	<p>8. גשר H</p> <p>8.1 מבנה עקרוני של גשר H כולל דיודות הגנה. שליטה בכיוון סיבוב המנוע.</p> <p>8.2 יישום גשר H על ידי ממסרים. כולל מעגלי בקרה.</p> <p>8.3 יישום גשר H על ידי מתגים טרנזיסטוריים דו קוטביים. כולל מעגלי בקרה. יישום אפנון רוחב דופק במעגל זה.</p> <p>8.4 יישום גשר H על ידי מתגים טרנזיסטוריים מסוג MOSFET, כולל מעגלי בקרה.</p>

4	9. רכיבי בקרת הספק (תריסטורים) - SCR מיישר סיליקון מבוקר, DIAC, TRIAC : סימון חשמלי, הדקים, אופייניים, עקרון פעולה.
4	10. טרנזיסטור חד-צמתי (UJT): הדקים, פרמטרים אופייניים, עקרון פעולה, אופיין מתח לזרם ב UJT, תיאור וניתוח מעגל מתנד תפוגה עם UJT.
4	11. טרנזיסטור חד צמתי מתוכנת (PUT): הדקים, פרמטרים אופייניים, עקרון פעולה, תיאור וניתוח מעגל מתנד תפוגה עם PUT.
4	12. מעגלי בקרת הספק : הסבר מושגים : בקרת הספק, מעגלים לבקרת זווית הצתה, זווית הולכה, זווית כיבוי, עומס, מתח ממוצע, מתח יעיל.
6	13. ניתוח פעולתם של מעגלי בקרת הספק : מעגל לבקרת חצי גל, מעגל בקרת גל שלם (עם SCR, DIAC, TRIAC), חישובי מתח ממוצע ויעיל על גבי העומס, חישובי זווית הצתה, חישובי הספק נמסר לעומס, שרטוט צורות גלים.
2	14. עקרונות בקרת הספק במעגלים תלת-פאזיים

## ספרות מומלצת בעברית:

### לתחום האלקטרוניקה התקבילית:

1. טרנזיסטורים (תיאוריה ותרגילים). שלמה הימלברנד ודוד ערב, הוצאת אלי מיטב.
2. אלקטרוניקה כללית אינג' וילי רוזנבלום, הוצאת מט"ח והאוניברסיטה הפתוחה.

### לתחום האלקטרוניקה התעשייתית:

1. אינג' וילי רוזנבלום, אלקטרוניקה תעשייתית. הוצאת אורט.
2. דניאל תמיר ושמחה גלעם אלקטרוניקה תקבילית כרך ב' (פרקים 4-5).. הוצאת אורט.
3. בהיר זאב, מבוא לאלקטרוניקה הספק, הוצאת עתיד בהיר
4. כימיא ר', אלקטרוניקה תקבילית, כרך א' חלק I, הוצאת אורט
5. גילעם ש', וייסמן ז', אלקטרוניקה תקבילית, כרך א' חלק II, הוצאת אורט

## מעבדה באלקטרוניקה ואלקטרוניקת הספק

32 שעות

שנה א'

32 שעות

סה"כ

### ראשי פרקים

1. חזרה על תפעול של מכשור מעבדתי בסיסי 4 שעות
2. פירוט ניסויים 28 שעות

### הקדמה ומטרות:

מעבדה לאלקטרוניקה הווה חלק מעשי ומשלים לקורס עיוני באלקטרוניקה ואלקטרוניקת הספק (מקצוע בחירה). מומלץ להעביר את המעבדה בסמסטר שני של שנת הלימודים השנייה, לאחר לימוד של חלקו הראשון של הקורס העיוני במקצוע.  
במסגרת המעבדה יתנסו הסטודנטים בחומר התיאורטי שלמדו בקורס עיוני באלקטרוניקה ובאלקטרוניקת הספק, ירכיבו מעגלים יכירו רכיבים אלקטרוניים בסיסיים (כמו דיודה, טרנזיסטור ותריסטורים) ויבצעו מדידות, תוך הפעלה ושימוש במכשירי מעבדה: ספק כוח, רב מודד, מחולל אותות ומשקף תנודות (אוסצילוסקופ).  
בעריכת הניסויים ישתמשו הסטודנטים בלוח מטריצה.  
שיעורי מעבדה ייערכו במעבדה בסיסית לחשמל ואלקטרוניקה בקבוצות של עד 14 סטודנטים. בגמר כל ניסוי יגישו הסטודנטים דו"ח טכני מפורט על מהלך הניסוי ותוצאותיו.

### מתודולוגיית למידה:

ניסויים והדגמות במעבדה לאלקטרוניקה.  
שילוב דוגמאות בעזרת תוכנות הדמיה.  
שימוש בדפי נתונים ובדפי יצרן של הרכיבים השונים

### תפוקת למידה:

- עם סיום לימוד המעבדה הסטודנט:
1. יבנה מעגלים אלקטרוניים בסיסיים.
  2. יפעיל מכשירי מדידה במעבדה.
  3. ימדוד פרמטרים שונים במעגלים וישווה אותם עם תוצאות החישוב.
  4. יכין דו"ח מעבדה מפורט.

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

### מיומנויות:

1. יכולת חשיבה יצירתית.
2. יכולת למידה עצמית ועבודה בצוות.
3. יכולת ניתוח תוצאות.
4. יכולת הסקת מסקנות.

### פרוט התכנים (הנושאים):

- 4 ש' 1. **חזרה על תפעול של מכשור מעבדתי בסיסי**  
הדגמה של תפעול המכשירים הבאים:  
רב מודד (Multimeter) אנלוגי וספרתי, ספק כוח מעבדתי,  
מחולל אותות, משקף תנודות.  
הכרת עקרון פעולה ומפרט טכני של המכשירים. תרגול הסטודנטים  
בהפעלה נכונה של המכשירים תוך שימוש בכבלים ומחברים מתאימים.

- 28 ש' 2. **פירוט ניסויים**  
כל ניסוי יתחיל בהכנת דוח מכין, דרך ביצוע המדידות והבדיקות  
ויסתיים בהגשת דוח מסכם.

הרכיבים בניסויים יורכבו על גבי המטריצה ויחוברו למכשור המעבדה.

### נושאים מומלצים לניסוי:

1. דיודות- דיודות במעגלי זרם ישר, שימוש בדיודה פולטת אור.
2. מיישר חד דרכי ודו דרכי (גשר דיודות).
3. טרנזיסטורים בי פולריים (NPN ו-PNP), טרנזיסטור כמתג.
4. מגברי שרת- הכרת תכונות, משווה, מגבר ומעגלים שימושיים.
5. הכרת תיריסטורים מסוג SCR ו Triac. מעגלים בסיסיים.
6. מעגלי בקרת הספק עם תיריסטורים.
7. יישום גשר H להפעלת מנוע לזרם ישר.
8. הפעלת ממסר בעזרת מעגלים אלקטרוניים.

### הערה:

מכיוון שהמקצוע מוגדר כמקצוע בחירה הוכנו נושאים מומלצים לניסויים. כל מכללה  
תוכל לשנות/ להוסיף ניסויים לפי ראות המרצה ולפי ההתמחות בה תבחר לנצח את שעות  
הבחירה

## תיכון מערכות מכטרוניות

48 שעות  
48 שעות

שנה ב'  
סה"כ

### הקדמה ומטרה

המקצוע מקנה לסטודנטים כישורים מעשיים בפיתוח מערכות מכטרוניות, המשלבות תחומים הנדסיים מורכבים כמו מכניקה, מכשור ובקרה, חשמל ותכנות.

במסגרת המעבדה יתנסו הסטודנטים בהפעלה של מערכות משולבות (רצוי דגמים מעשיים) באמצעות בקרים מתוכנתים (PLC) או כרטיסי פיתוח כדוגמת Arduino ו-Raspberry Pie. תכנות המערכות יוכל להתבצע בעזרת כל שפת תכנות מתאימה ותוכנת ממשק.

הסטודנט יתנסה בתכנון של מערכת יישומית מההיבט המכני (כולל שרטוטים), שילוב חיישנים ומפעילים במערכת, חיבור חשמלי של הציוד אל מערכת הבקרה וכתובת תוכנה. בסיום תתבצע הרצה ודיאגנוסטיקה לאיתור תקלות.

הביצוע ייעשה בקבוצות קטנות. בגמר כל תרגיל/משימה שיוגדרו, יגישו סטודנטים דו"ח מפורט ויציגו מודל פועל של המערכת. מומלץ לאפשר לסטודנטים להציג (מצגת) את המודל/ תרגיל שביצעו עם

הקורס יכול להוות מבוא ותרגול להכנת פרויקט הגמר.

### תפוקת למידה

עם סיום הקורס, הסטודנט:

1. יתנסה בשלבים הנדרשים לפיתוח של מערכת מכטרונית
2. יכיר טכנולוגיות שימושיות בתחום המכטרוניקה
3. יתנסה בתכנות מערכת לפי דרישות (תפ"מ)
4. יתנסה בכתובת מפרט טכני/ הוראות הפעלה
5. יתנסה בביצוע מצגת טכנית קצרה בפני קהל

### מיומנויות

1. יכולת חשיבה יצירתית ולוגית.
2. יכולת להבין מערכות מורכבות.
3. יכולת עבודה בצוות
4. יכולת פתרון בעיות
5. יכולת ניתוח מערכת וביצוע דיאגנוסטיקה

כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע

## נושאי לימוד, תרגילים ומשימות

### 1. הכרת המעבדה .

- הכרת הציוד והמכשור במעבדה.
- הנחיות וכללי בטיחות. הנחיות אודות דיווח טכני במעבדה.

### 2. בחירת חיישנים ומפעילים לתרגיל

- 2.1 שימוש במפרט טכני של הציוד.
- 2.2 קריאת שרטוטי החיבורים של הציוד לבקר.
- 2.3 כיול הציוד והתאמתו למערכת.

### 3. הגדרת מטלות באמצעות תפ"מ

- 3.1 הגדרת רשימות קלט/ פלט (I/O).
- 3.2 כתיבת אלגוריתם לביצוע
- 3.3 כתיבת תפ"מ מסודר עבור מערכת הבקרה

### 4. בחירת בקר מתאים

- 4.1 זיהוי מפרט טכני של הבקר
- 4.2 בחירת שפת תכנות מתאימה.
- 4.3 זיהוי אופן החיבור לכרטיסי הממשק בבקר.

### 5. חיווט החיישנים והמפעילים לבקר

- 5.1 חיווט החיישנים לכניסות הבקר (קלט).
- 5.2 חיווט המפעילים ליציאות הבקר (פלט).

### 6. כתיבת תכנית למערכת לפי האלגוריתם והתפ"מ

- 6.1 הרצת התוכנית.
- 6.2 בדיקת חיווט הכניסות והיציאות (וזיהוין בתוכנה).

### 7. הרצת המערכת ואיתור תקלות

- 7.1 הרצה צעד צעד לפי יכולות ממשק התכנות.
- 7.2 "סגירת" יישום"

### 8. כתיבת דוח טכני/ ספר מערכת

- 8.1 כתיבת דוח טכני מפורט.
- 8.2 הכנת מצגת קצרה להצגת המערכת.

ניתן להגדיר משימות לפי תחומי העניין של הסטודנטים או לפי החלטת המכללה.  
בחירת הציוד והמכשור במעבדה ייעשו לפי שיקולים מקצועיים של המכללה.



כל הזכויות שמורות למכון הממשלתי להכשרה בטכנולוגיה ובמדע