

מערכות בקרה אוטומטיות - מבנה ומרכיבים

הקדמה:

בפרק הקודם הכרנו את הפעולות שנדרשות לביצוע תהליך של בקרה, ראינו מהם המרכיבים שמבצעים פעולות אלו ואיך מערכת בקרה בנוייה. בפרק זה נעסוק באוטומציה של הבקרה ונבין מהם המרכיבים הנדרשים לאוטומציה כזו. בפרק זה נתבסס על ההיכרות שלנו עם הפעולות הבסיסיות שנדרשות לביצוע בקרה ונכיר את המרכיבים שאחראים לביצוע פעולות אלו במערכת בקרה טכנולוגית: החיישן הבקר וה"מפעילים". נתנסה בבנייה ובהפעלה של מערכות חישה, התראה ובקרה.

מטרות:

- התלמידים יכירו את מרכיביה העיקריים של מערכת בקרה טכנולוגית אוטומטית:
 - תת מערכת עיבוד והפעלה
 - תת מערכת חישה
- התלמידים יתנסו בהפעלת המרכיבים השונים של מערכת הבקרה האוטומטית

חשוב:

- בחלק זה של התוכנית התלמידים מכירים מערכות אלקטרוניות ברמת מורכבות משתנה. ברוב הפעילויות ניתן לבחור בין שני מסלולים:
 - מסלול 1-** התלמידים מקבלים את המערכת מורכבת מראש ומתנסים בהפעלתה. הערה: מסלול זה דורש עבודת הכנה של המערכות מראש.
 - מסלול 2-** התלמידים מרכיבים את המערכת בעצמם (על פי הוראות) ואז מתנסים בהפעלתה. הערה: מסלול זה דורש הכנה מראש של קיטים של ציוד לכל קבוצת תלמידים.

משך זמן

210 דקות

גיל

חט"ב - חט"ע

התאמה לתחומי דעת

ביולוגיה, מדע וטכנולוגיה

ידע מוקדם

מרכיבי מערכת בקרה, מערכת משוב

מושגים מרכזיים

בקרה, חיישן, מעבד, מפעיל

מיומנויות נלמדות

הרכבת מעגל חשמלי, חיבור מעבד למחשב, טעינת תוכנה מהמחשב למעבד

להכין מראש

דגם הוראה

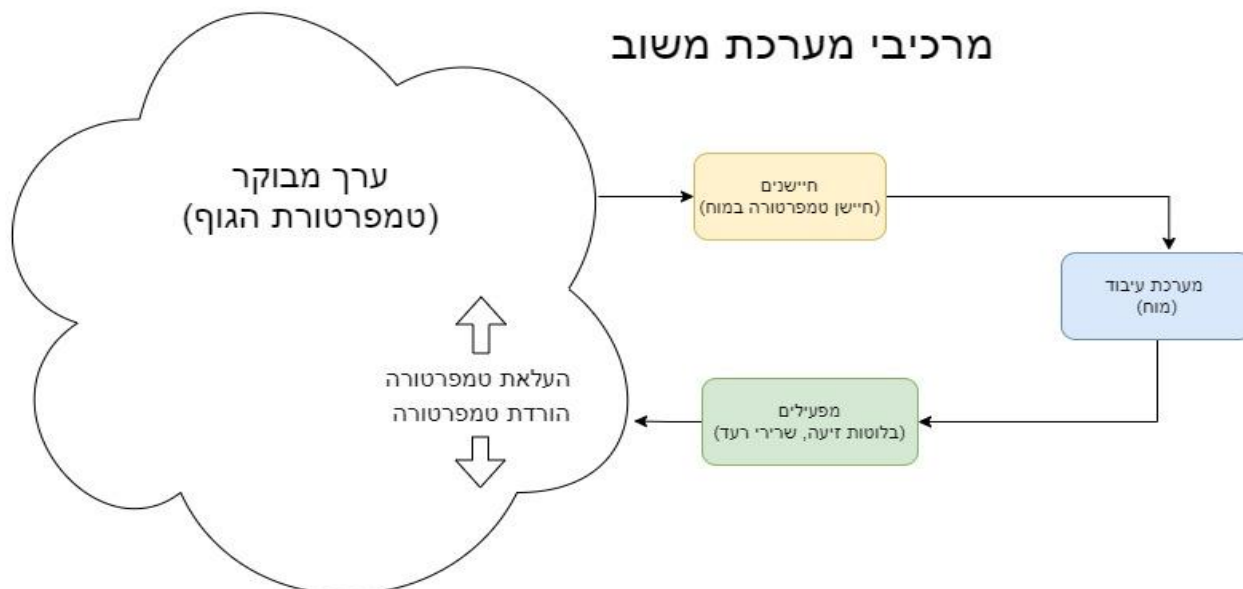
שלב	תיאור הפעילות	זמן דק'	סוג פעילות	עזרים
1.	הכרות עם מרכיביה של מערכת בקרה אוטומטית: נכיר את המרכיבים של מערכות בקרה אוטומטיות	10	 הקנייה בכיתה	לכל השיעור: מצגת מלווה מחשב מחובר למקרן
2.	הכרות עם מערכת בקרה הכוללת חיישנים נכיר את החיישן כמערכת שמייצרת ערך אנלוגי לגודל פיזיקלי כלשהו. נדגים את העקרון הזה על חיישנים מוכרים, ונתעמק בדרך הפעולה של חיישן אולטרא-סוני המאפשר מדידת מרחק.	35	 הקנייה  פעילות מתוקשבת	
3.	הכרות עם המעבד - הבהוב נורה נכיר את מעבד ה NodeMCU שפועל במקרה זה כרכיב המאפשר את התקשורת עם החיישן, מפעיל אותו, ומקבל ממנו נתונים. נחבר למעבד מעגל פשוט של נורת לד ונריץ תוכנה שתגרום לנורה להבהב. הערה: את ההתנסות המעשית ניתן לבצע בשתי צורות: א. מערכות מורכבות מראש. התלמידים מתנסים רק בהפעלתן ב. הרכבה עצמית על ידי התלמידים והתנסות (נחוצה תוספת זמן משמעותית לשם כך)	45	 הקנייה  עבודה בזוגות/שלשות	לכל קבוצה:
4.	הכרות עם חיישן המרחק האולטרא-סוני נכיר את חיישן המרחק האולטרא-סוני. נבין את עקרון פעולתו, נתנסה בהפעלתו (בעזרת המעבד שהכרנו), נבצע מדידות בפועל ונכיר את מגבלותיו. לבסוף נשווה את המערכת שבנינו למערכת התראת מרחק שמורכבת במכוניות. הערה: את ההתנסות המעשית ניתן לבצע בשתי צורות: א. מערכות מורכבות מראש. התלמידים מתנסים רק בהפעלתן (מודדים מרחק בעזרת החיישן) ב. הרכבה עצמית על ידי התלמידים והתנסות (נחוצה תוספת זמן משמעותית לשם כך)	45	 הקנייה  עבודה בזוגות/שלשות	
5.	מערכת למדידת כמות של מים בכלי בשיעור זה נשתמש במערכת שהרכבנו בשיעור הקודם כדי למדוד את גובה המים בכלי, כדוגמה ליישום של מערכת מדידה.	45		

	 מידע  עבודה בזוגות/שלשות	30	משימת הרחבה 1: הדלקת לד להתראה על מרחק קטן בעזרת חיישן מרחק אולטרא-סוני בשיעור זה נפעיל את החיישן האולטרא סוני כחלק ממערכת מורכבת שמודדת מרחק ומפעילה נורה המתריעה על מרחק קטן מ-10 ס"מ. הערה: את ההתנסות המעשית ניתן לבצע בשתי צורות: א. מערכות מורכבות מראש. התלמידים מתנסים רק בהפעלתן (מודדים מרחק בעזרת החיישן) ב. הרכבה עצמית על ידי התלמידים והתנסות (נחוצה תוספת זמן משמעותית לשם כך)	6.
		15	משימת הרחבה 2: הפעלת החיישן האולטרא סוני במערכת מורכבת שמודדת מרחק ומפעילה נורה בחלק זה נתמקד בתוכנה: נשנה את התוכנה ששימשה להרחבה 1, כך שניתן יהיה לשלוט במרחק שבו תדלק הנורה.	7.
		45	משימת הרחבה 3 למתקדמים: חיישן רוורס - מערכת המגיבה באופן משתנה לסביבה בחלק זה נשנה את התוכנה ששימשה להרחבה 1, עם דרישה מתקדמת יותר: כשמרחק מהעצם קטן מ-10 ס"מ, הנורה תדלק ותתחיל להבהב, וההבהב יעשה מהיר יותר ככל שהעצם יתקרב אל החיישן. הרחבה זו כוללת הבנה של קוד מתקדם, ושימוש בפקודה של #C.	8.

מהלך הפעילות

מערכת בקרה אוטומטית [10 דקות]

מרכיביה של מערכת בקרה מבוססת משוב נתונים בשרטוט הבא (בסוגריים דוגמה של מרכיבי מערכת בקרת הטמפרטורה בגוף):



במערכות שבהן פעולות הבקרה הנדרשות הן רבות ותכופות יש יתרון להפוך את המערכת לאוטומטית. מערכות בקרה אוטומטיות טכנולוגיות (לא ביולוגיות) מתבססות בדרך כלל על רכיבים אלקטרוניים לביצוע הפעולות השונות, רכיבים אלו מעבירים ביניהם מידע (חשמלי בדרך כלל) ואף מבצעים פעולות שונות.

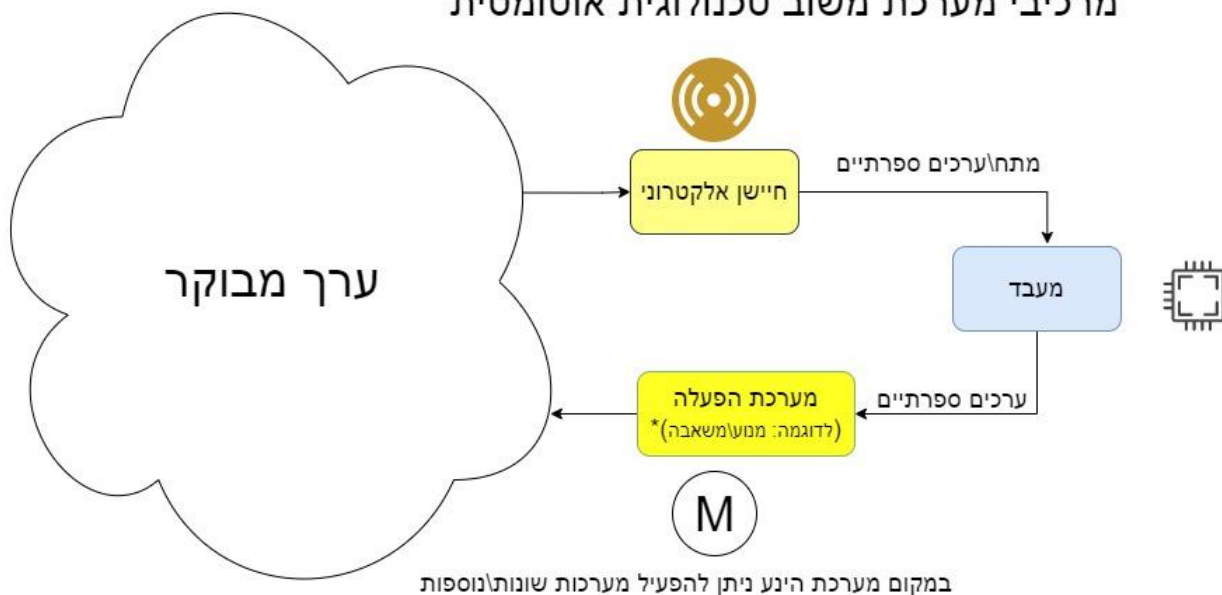
הרכיבים העיקריים של מערכת בקרה אוטומטית הם:

החיישן האלקטרוני - בדומה לחיישנים ביולוגיים (חיישן הטמפרטורה בגוף למשל) החיישן האלקטרוני חש גודל פיסיקלי מסויים ומייצר אות חשמלי אנלוגי לערך זה.

המעבד - מקבל מידע ממערכות החישה, מקבל החלטות (על פי אלגוריתמים שתוכנתו בתוכו) ומפעיל על פי הצורך (באמצעות אותות חשמליים) את מערכות ההינע.

מערכת היוצרת פעולה - מופעלת על ידי המעבד ותפקידה ליצור את השינוי הנדרש בערך המבוקר. לדוגמה: מערכת הינע מבוססת מנוע שתפקידה להזיז מרכיבים במערכת (המעבד יכול להפעיל מערכות מסוגים שונים: חימום/קירור, קול, אור וכ"ו)

מרכיבי מערכת משוב טכנולוגית אוטומטית



במקום מערכת הינע ניתן להפעיל מערכות שונות/נוספות

לדוגמה: חימום/קירור, תאורה, מערכת שמע ועוד

הכרות עם מערכת בקרה הכוללת חיישנים [35 דקות]

חיישנים טכנולוגיים

חיישנים טכנולוגיים חשים גודל פיסיקלי כלשהו (אור, קול, משקל וכ"ו) ומייצרים גודל אחר (גודל אנלוגי) שקל לנו יותר לאמוד את גודלו ואף למדוד אותו במדויק.

את מערכות החישה הראשונות (לא אלקטרוניות) ייצרו בני אדם לפני יותר מ-2000 שנה: שעוני חול ושעוני שמש יצרו ייצוג אנלוגי לזמן שעובר, מאזניים יצרו ייצוג אנלוגי למשקל ועוד. במהלך הזמן, ככל שהעיסוק של בני אדם במדע ובטכנולוגיה גבר, הלכו חיישנים אלו והשתכללו.

מד הטמפרטורה אותו אנחנו מכירים מהשימוש הביתי הוא חיישן לכל דבר. הוא מתרגם את מידת החום לגובה של עמוד הכספית (אותו ניתן לאמוד בעיין ואף למדוד את אורכו המדויק באמצעות מד השנתות).

מדי החום הראשונים פותחו על ידי הרומאים לפני 2000 שנה אך מד הטמפרטורה הראשון מבוסס הכספית פותח ב-1714 על ידי גבריאל פרנהייט.

בפעילות הבאה ננסה לזהות מהם הגדלים הפיזיקליים שמיוצגים על ידי גדלים אנלוגיים שונים במערכות חישה שונות, כל החיישנים האלו הם חיישנים אנלוגיים.



את הפעילות ניתן לבצע במליאה בעזרת המצגת המלווה או בצורה מקוונת כאן:

<https://campus.ort.org.il/mod/hvp/view.php?id=125158>

תשובות לפעילות:

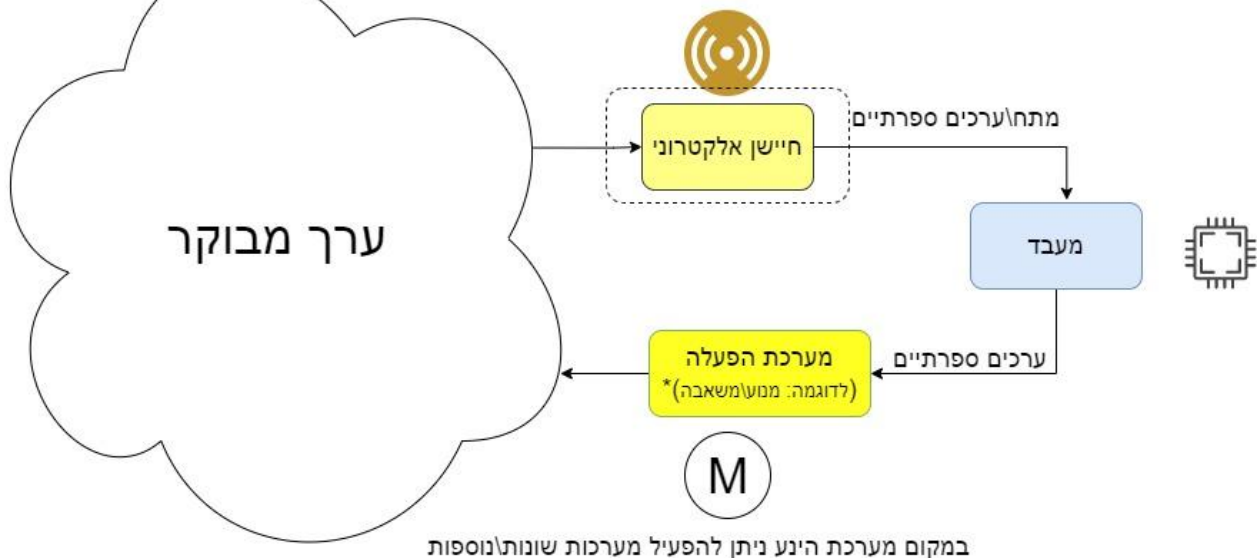
גדלים פיסיקליים נמדדים	ייצוגים אנלוגיים	מערכות חישה
כמות הזמן שחלפה מאז הטיית השעון	כמות החול בחלק התחתון של שעון החול	
שעת היום על פי מיקום השמש	מיקום הצל בשעון שמש	
טמפרטורת הסביבה	גובה עמוד הכספית במדחום	
היחס בין משקל הגוף הנבדק למשקלן של משקולות המתכת	מיקום המחט במאזני שקילה	

חישן מרחק אולטרא-סוני

מערכת משוב טכנולוגית כוללת, כפי שראינו, חיישנים, מעבדים ומערכות הפעלה. נתמקד עכשיו בהיכרות עם חישן אלקטרוני.

כדי שהחישן ישולב במערכת אלקטרונית עליו לייצר גודל אנלוגי חשמלי (למשל- מתח). כיום קיימים חיישנים רבים שמייצרים ערכים אנלוגיים חשמליים. במכשירים יומיומיים כמו הטלפונים החכמים שלנו יש כמות גדולה של חיישנים שחשים מדדים שונים ומייצרים ערכים אנלוגיים חשמליים:

מרכיבי מערכת משוב טכנולוגית אוטומטית



במקום מערכת הינע ניתן להפעיל מערכות שונות/נוספות

לדוגמה: חימום/קירור, תאורה, מערכת שמע ועוד

בואו נכיר חיישן טכנולוגי מאוד שימושי בחיי היומיום - **חיישן מרחק אולטרא-סוני**.
חיישן זה משמש במערכות יומיומיות רבות, ואחת מהן מוכרת במיוחד - מערכת מדידת המרחק בכלי רכב (זו המערכת המתריעה על המרחק בזמן נסיעה לאחר למשל).



חיישן המרחק האולטראסוני מודד את המרחק אל העצם הקרוב ביותר. הוא עושה זאת על ידי שליחת גלי קול ומדידת הזמן שלוקח לגלים אלו לחזור, ומתבסס על כך שלקול באוויר יש מהירות קבועה. בעזרת זמן המעבר של הגלים (עד העצם ובחזרה) ניתן לחשב את המרחק בעזרת הנוסחה המוכרת של מהירות, זמן ודרך:

$$D = t * v$$

כאשר:

המרחק נתון על ידי D ביחידות של מטר
הזמן נתון על ידי t ביחידות של שנייה
המהירות נתונה על ידי v ביחידות של מטר לשנייה

מאחר שמהירותם של גלי הקול באוויר קבועה וידועה (שווה ל 343 מטר לשנייה בערך) הרי שקל לחשב את המרחק מהעצם הקרוב בעזרת נוסחה זו.

בסרטון הבא נסביר את עיקרון הפעולה של החיישן ואת דרך חישוב המרחק שמבוססת על עיקרון זה. שימו לב שלצורך הנוחות אנחנו משתמשים ביחידות זמן של מיקרו שניות (מיקרו שנייה = מיליונית שנייה = 10^{-6} שנייה) ובמהירות הקול ביחידות של סנטימטר למיקרו שנייה (0.0343 $\frac{\text{ס"מ}}{\text{מיקרו שנייה}}$)

<https://youtu.be/8uv1OcO80WM>



בתמונה ניתן לראות בהילוך איטי (מאד) את גל הקול יוצא מהמשדר, פוגע במכשול, ומוחזר למקלט.

ועכשיו בואו נתרגל קצת את חישוב המרחק בעזרת הזמן שנקבל מן החיישן. שימו לב שהזמן שנקבל מהחיישן יהיה ביחידות של מיקרו-שנייה (מיליונית שנייה) ולכן כדאי להשתמש במהירות הקול כשהיא נתונה על ידי 0.0343 סנטימטר למיקרו-שנייה:

1. מה מרחק העצם אם ידוע שהזמן שלקח לאות לפגוע בעצם ולחזור הינו: 750 מיקרו שניות?
2. מה מרחק העצם אם ידוע שהזמן שלקח לאות לפגוע בעצם ולחזור הינו: 1500 מיקרו שניות?
3. מה מרחק העצם אם ידוע שהזמן שלקח לאות לפגוע בעצם ולחזור הינו: 0.00023 שניות?

תשובות:

1. $D = 750/2 * 0.0343 = 12.86 \text{ m}$
2. $D = 1500/2 * 0.0343 = 25.72 \text{ m}$
3. $D = 230/2 * 0.0343 = 3.94 \text{ m}$

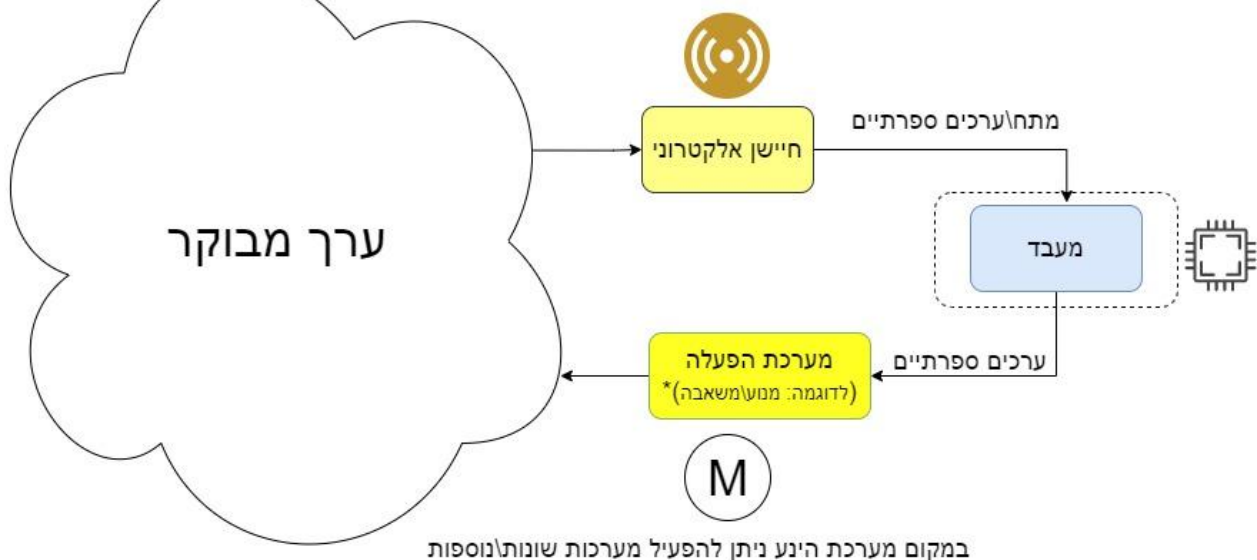
הכרות עם מעבד מסוג NodeMCU - הבהוב נורה [45 דקות]

כדי להפעיל חיישן באופן יעיל, חשוב להשתמש במעבד שיכול לנטר את התוצאות, ולהגיב לשינויים.

מעבד הוא מערכת אלקטרונית ספרתית המסוגלת להריץ תוכנה ובאמצעותה לבצע מגוון רחב של פעולות בינהן:

1. חישובים
2. פעולות לוגיות - קבלת החלטות על פי תנאים שונים
3. פעולות ב"עולם החיצון" כגון:
 - a. כתיבה וקריאה של מידע מהזיכרון
 - b. הצגת נתונים על המסך
 - c. הדפסת נתונים
 - d. תקשורת עם רכיבים סמוכים (שליחה וקבלת נתונים בצורה חוטית ואלחוטית)

מרכיבי מערכת משוב טכנולוגית אוטומטית



במקום מערכת הינע ניתן להפעיל מערכות שונות/נוספות

לדוגמה: חימום/קירור, תאורה, מערכת שמע ועוד

מעבדים הם חלקים מרכזיים במחשבים וגם במכשירים אלקטרוניים אחרים, אך ניתן להשתמש במעבדים שאינם מוטמעים במכשיר אלקטרוני. בואו נכיר את המעבד שלנו ה- NodeMCU, נחבר אליו מעגל פשוט שכולל נורת לד ונגד ונריץ עליו תוכנה שתדליק ותכבה את הנורה לסירוגין. מעגל פשוט זה הוא דרך מקובלת להכיר מעבד חדש ולהתנסות בכתיבת תוכנה, הרצתה וחיבורו של המעבד אל ה"עולם החיצון". יש אנשים שמכנים שלב זה כ- "Hello World" של עולם המעבדים (הפעם הראשונה שהמעבד מתעורר ואומר "שלום לעולם").

לשם פעילות זאת נשתמש במעגל המכיל את המעבד ונורת הלד.

מהלך הפעילות:

התחלקו לקבוצות של 2-3 תלמידים.

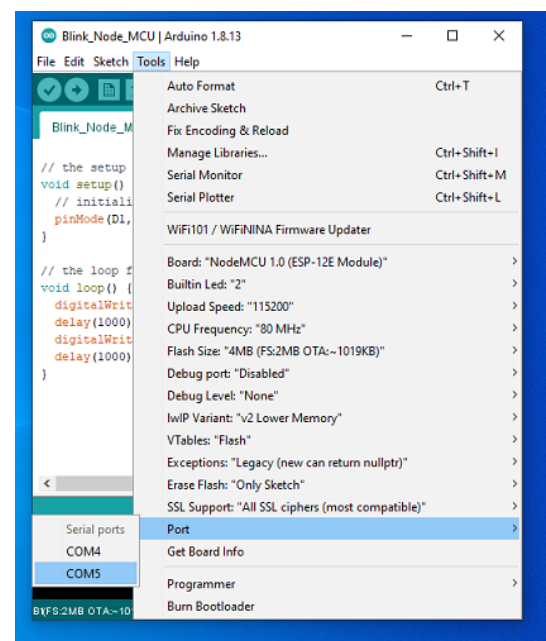
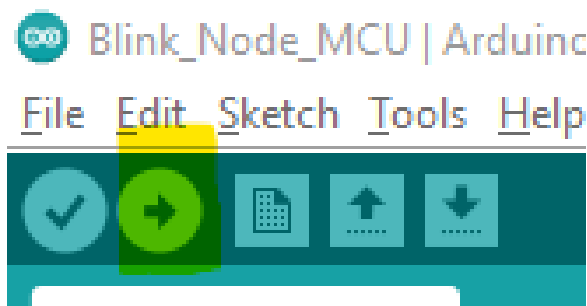
במשימה זאת:

1. נשתמש במעגל מוכן, או נבנה מעגל
2. נעלה למעבד את התוכנה שתדליק ותכבה את הנורה לסירוגין
3. נפעיל את המעבד כך שידליק ויכבה את הנורה

אם אין לכם מעגל מוכן, בנו את המעגל על פי ההוראות ב**נספח 1**

(לחלופין, קיימות הוראות לבניית המעגל במצגת שמלווה את הפרק הזה, עם שקופיות שמדגימות את בניית המעגל שלב אחר שלב; בנוסף ניתן גם לעקוב אחר תהליך הבנייה באופן מפורט בסרטון המצורף:
(<https://youtu.be/OZXURCFi7Bo>)
כדי להפעיל את הנורה:

1. הריצו את סביבת התוכנה של הארדואינו וחברו את המעבד למחשב בעזרת חוט החיבור.
2. העתיקו את התוכנה המופיעה ב**נספח 2** (ומופיעה גם בהערות במצגת) אל סביבת העבודה של ארדואינו.
3. בחרו ב-port המתאים (כפי שמופיע בתמונה): שימו לב שבדרך כלל יש לבחור ב-port עם המספר הגבוה ביותר שמופיע ברשימה, וליחצו על הכפתור להעלאת התוכנה אל המעבד (כפי שמופיע בתמונה), העלאת התוכנה תיארך מספר שניות ויש להמתין עד שתתקבל ההודעה (בתחתית המסך): Upload completed.
4. כעת התוכנה תרוץ על המעבד ואם הרכיבים מחוברים היטב הנורה תתחיל להבהב.



שאלת סיכום: אילו סוגי יכולות של המעבד ניצלנו בפרויקטון הבהוב הנורה?

תשובה: תקשורת עם רכיבים סמוכים - שליחת נתונים בצורה חוטית. יתכן שתתקבל גם תשובה: כתיבה וקריאה של מידע מהזיכרון. גם תשובה זאת נכונה, אך היא לא התשובה העיקרית).

משימת הרחבה להכרות עם תפקיד התוכנה: מה צריך לשנות בתוכנה כך שהנורה תהבהב לאט יותר? מהר יותר? תשובה: שינוי הערכים בשני המקומות שמופיע delay ישנו את הזמן שהנורה נשארת דלוקה ונשארת כבויה. לאחר שינוי ערך ה- delay יש לחוץ שוב על כפתור ההעלאה כנ"ל.

הכרות עם חיישן מרחק אולטרא-סוני HC-SR04 [45 דקות]

כעת, כשאנחנו יודעים איך להשתמש במעבד בואו נלמד להשתמש בחיישן המרחק. החיישן שבידנו הוא חיישן אולטרא-סוני מדגם HC-SR04
נשתמש במעגל שבו המעבד מחובר אל חיישן המרחק.

מהלך הפעילות:

התחלקו לקבוצות של 2-3 תלמידים.

במשימה זאת:

1. נשתמש במעגל מוכן, או נבנה מעגל
2. נעלה את התוכנה למעבד
3. נפעיל את המעבד כך שיפעיל את החיישן, ונוכל למדוד בעזרתו מרחק למכשול

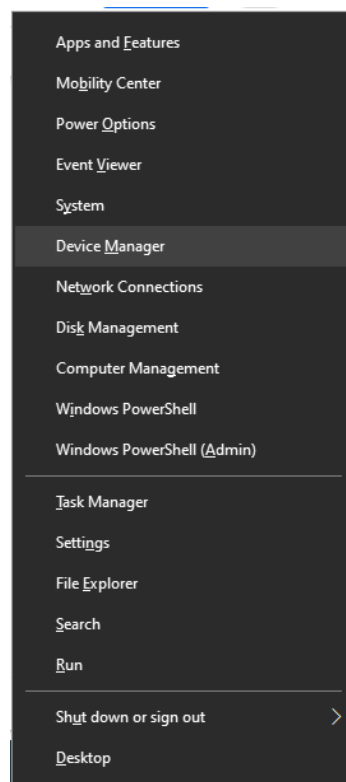
אם אין בידכם מעגל מוכן, נחבר את חיישן המרחק אל המעבד על פי ההוראות ב**נספח 3**:

(לחלופין, קיימות הוראות לבניית המעגל במצגת שמלווה את הפרק הזה, עם שקופיות שמדגימות את בניית המעגל שלב אחר שלב; בנוסף ניתן גם לעקוב אחר תהליך הבנייה באופן מפורט בסרטון המצורף: <https://youtu.be/l8jTlbpcIK8>)

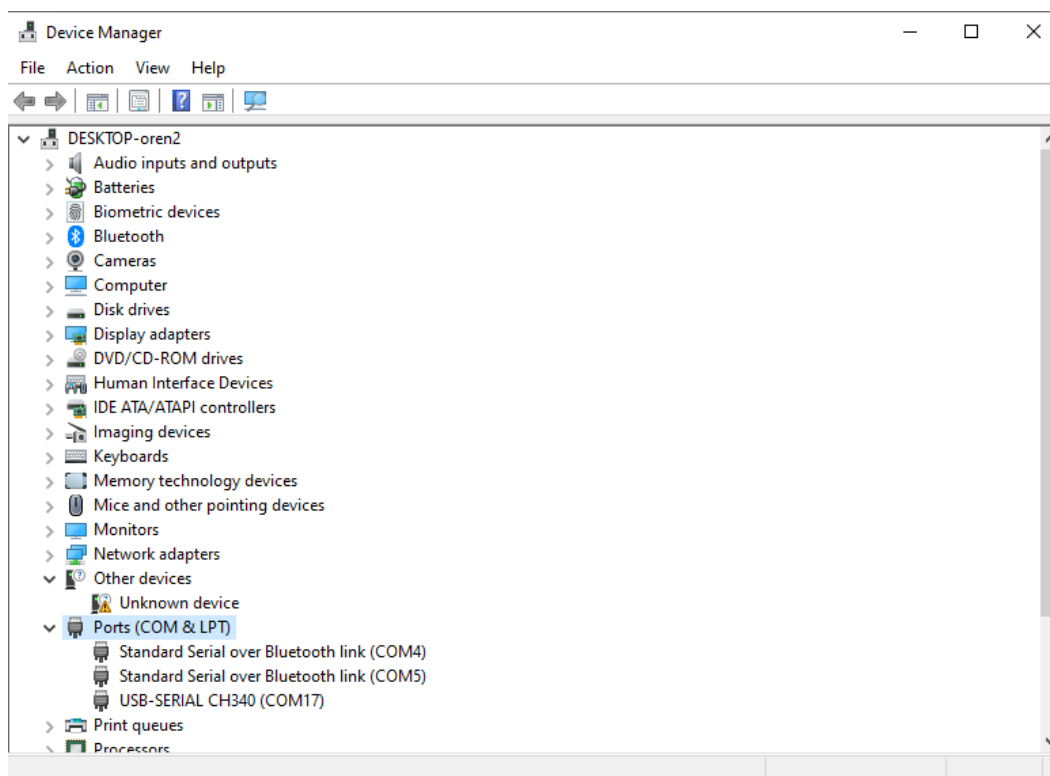
כדי להפעיל את חיישן המרחק:

1. הריצו את סביבת התוכנה של הארדואינו וחברו את המעבד (NodeMCU) למחשב בעזרת כבל החיבור.
2. העתיקו את התוכנה המופיעה ב**נספח 4** לקובץ זה (התוכנה מופיעה גם בהערה במצגת) אל סביבת העבודה של הארדואינו,
3. בחרו ב-port המתאים (כבדרך כלל ה-port עם הערך הגבוה ביותר ברשימה שנפתחת כפי שמופיע בתמונה)
אם ברצונכם לבדוק מהו מספר ה-Port אליו מחובר המעבד הריצו את מנהל ההתקנים על ידי הקשה על צירוף המקשים: Windows+X

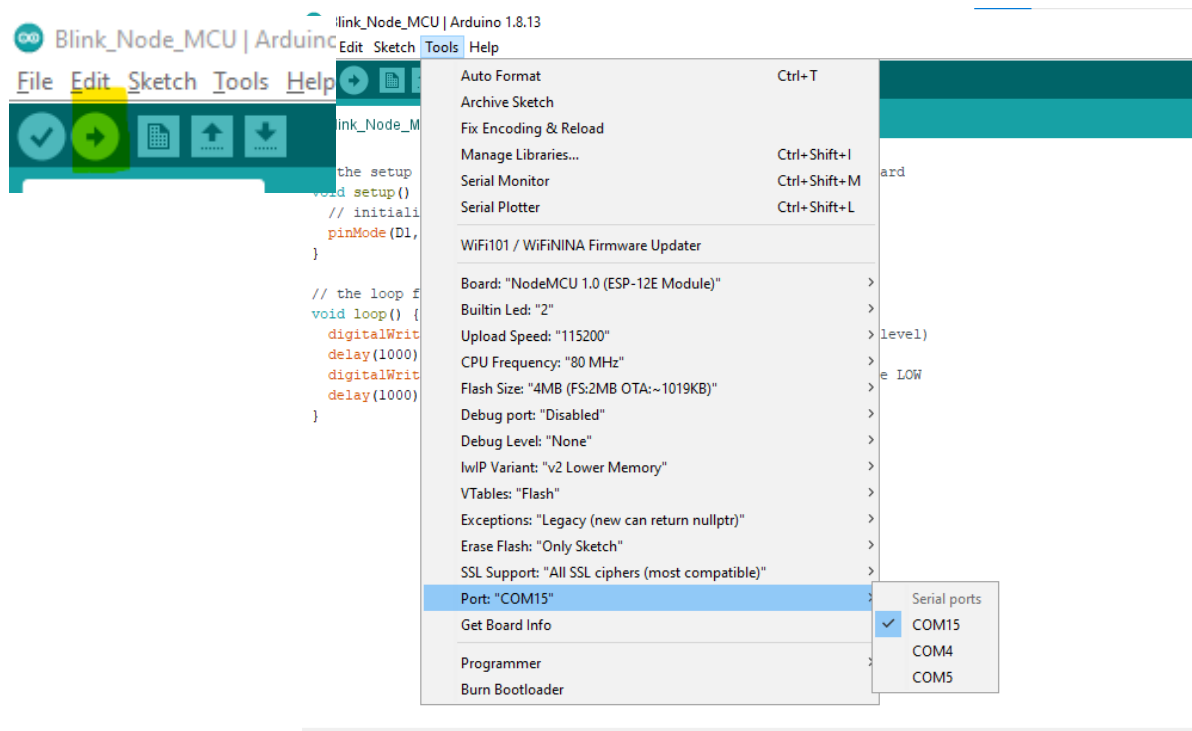
בתפריט שנפתח ביחרו במנהל ההתקנים (או Device Manager):



בחלון Device Manager (מנהל ההתקנים) הרחיבו את תפריט Ports (COM & LPT) ובידקו מה מספר ה-COM שלידו מופיע: USB Serial CH340 (בדוגמה למטה COM17). מספר ה-COM הוא גם מספר ה-Port שלכם.



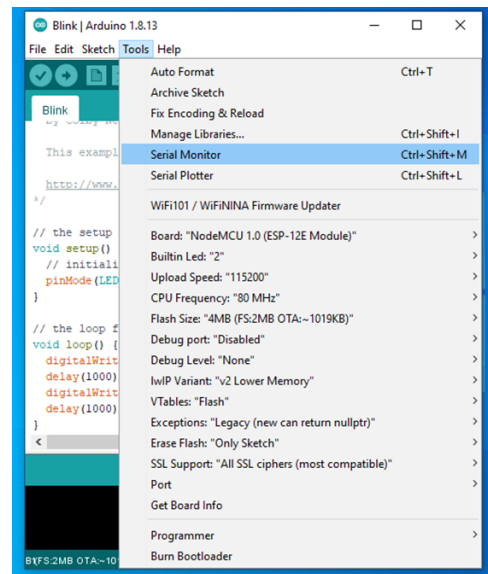
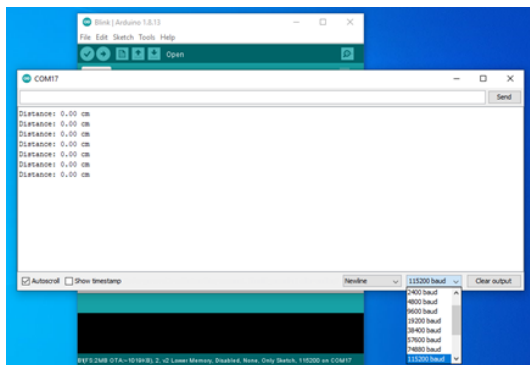
4. לחצו על הכפתור (מסומן בשרטוט) להעלאת התוכנה אל המעבד.



5. הפעלת המסך כדי לצפות בהודעות שנשלחות מהתוכנה:

לשם קריאת תוצאות מדידת המרחקים צריך לאפשר קבלת הודעות במסך הסיריאלי.

- בתפריט כלים (Tools) ביחרו ב Serial monitor (מסך סיריאלי)
- במסך שנפתח ביחרו בתפריט המהירויות (מימין למטה) במהירות תקשורת המתאימה למהירות שנבחרה בתוכנה (במקרה שלנו 115200)



משימה: שימוש במערכת - מדידת מרחקים

1. בידקו את קריאת החיישן מספר פעמים עבור מכשול במרחקים הבאים: 11 ס"מ, 13 ס"מ, 15 ס"מ

ניתן לראות כיצד מתבצעת הבדיקה בסרטון הבא:

<https://youtu.be/iP1V1H58SHE>

סכמו את התוצאות בטבלה הבאה:

15 ס"מ	תוצאות המדידה	13 ס"מ	תוצאות המדידה	11 ס"מ	תוצאות המדידה
1		1		1	
2		2		2	
3		3		3	
4		4		4	
5		5		5	

2. האם עבור מרחק מסויים כל תוצאות המדידה זהות? אם לא הציעו סיבות אפשריות לקריאות שונות/לטעויות מדידה

תשובה: הקריאות שונות זו מזו בדרך כלל. סיבות אפשריות להבדלים: החזרים ממקומות שונים, הדיוק המוגבל של החיישן, טעות שקשורה למדידת זמן באמצעות תוכנה ועוד. השערה נפוצה שאיננה נכונה: רעש מהסביבה לא יכול לגרום לטעות שכן החיישן אינו מושפע מטווח גלי הקול הנשמע.

3. האם התוצאות של החיישן מדוייקות? התייחסו גם לערכים שקיבלתם, וגם לשונות בין הערכים.

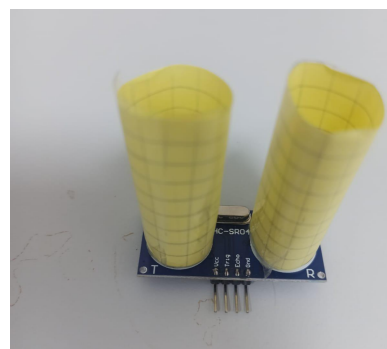
תשובה: הקריאות כמעט אף פעם לא מדוייקות. לרוב נקבל קריאות סביב הערך המצופה, עם שונות בין קריאה לקריאה.

4. מה יכול לעזור לשיפור דיוק המדידה של החיישן?

תשובה: שיטה פיזית אפשרית לשיפור הדיוק היא הוספת "צינורות" למיקוד האותות הנשלחים והחוזרים (כפי שמופיע בתמונה),

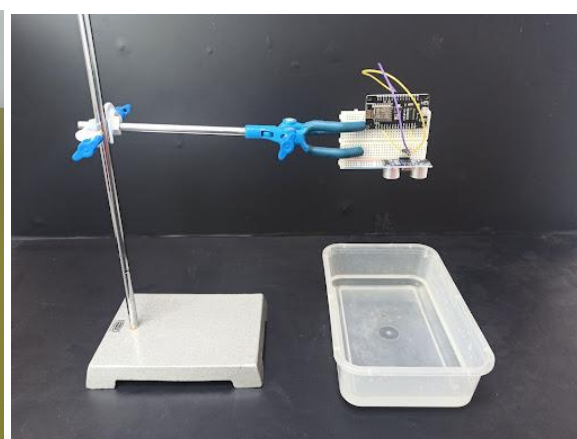
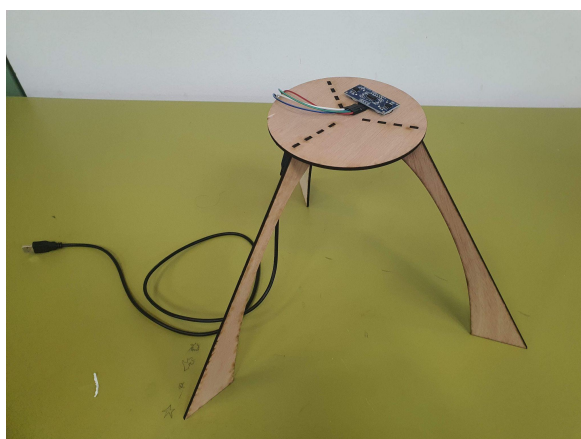
שיטה מתמטית אפשרית לסינון "רעשים" (אוסף הדברים שמשנים את התוצאה מהתוצאה הנכונה) היא שימוש בממוצע התוצאות, ומערכות רבות משתמשות בכך.

שימו לב: חוסר הדיוק בחיישנים, והשונות בתוצאות, היא אופיינית לכל חיישן, ותמיד צריך למצוא לכך פתרון. לחיישני האור בטלפון, למדחום המכוון למצח, בכולם יש שונות בתוצאות.

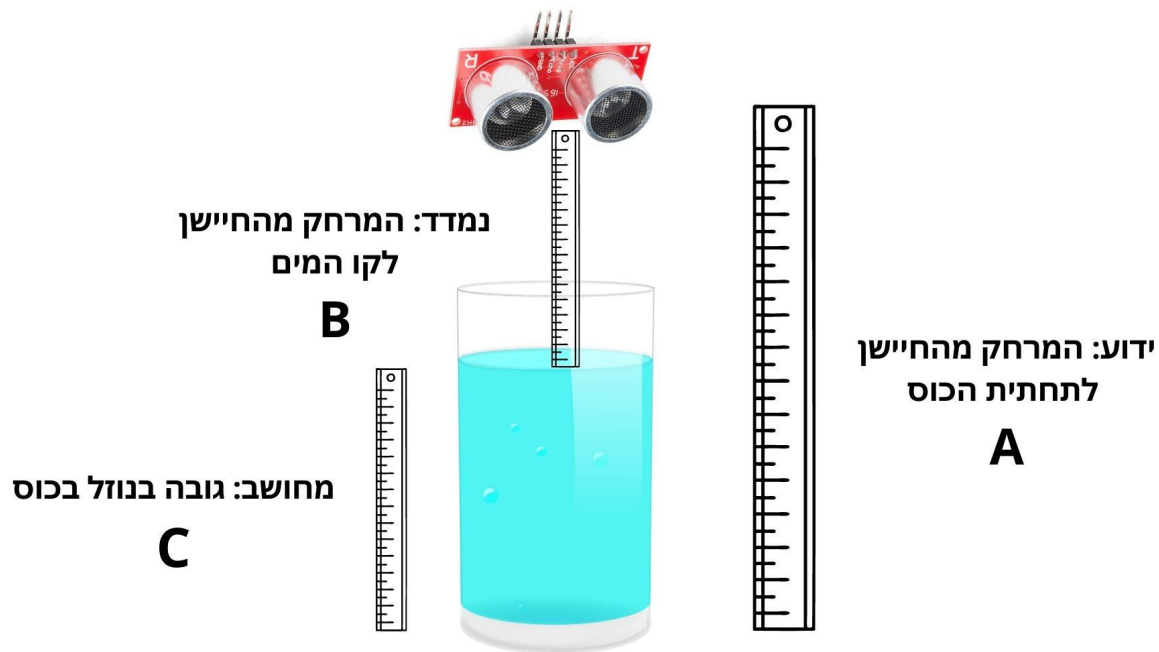


מערכת למדידת כמות של מים בכלי [45 דקות]

קעת נשתמש במעגל למדידת מרחק שבנינו בפרק 2.4 כדי למדוד כמות של מים בכוס. ניקח את מעגל מדידת המרחק המורכב ונמקם אותו באופן יציב מעל כלי שבתוכו מים. ניתן לבנות מחזיק יעודי למערכת (תמונה שמאלית) על פי הוראות ההרכבה בנספח. המערכת המורכבת תראה דומה למערכות המוצגות בתמונות הבאות:



עיקרון הפעולה של המערכת: אנחנו נציב את חיישן המרחק בגובה ידוע (מדוד) מעל תחתית הכלי עם המים ונמדוד את המרחק מהחיישן ועד לפני המים. בעזרת שני הנתונים הנ"ל נוכל, בקלות, לחשב את גובה המים בכוס כפי שניתן לראות בשרטוט הבא:



$$C = A - B$$

(מרחק החיישן מפני המים) - (מרחק החיישן מהקרקעית) = (גובה המים בכוס)

הערה: לאחר שחישבנו את גובה המים בכלי ניתן לחשב בקלות את נפח המים בכלי על ידי הנוסחה הפשוטה לחישוב נפח גליל על ידי הכפלת שטח הבסיס בגובה (יש למדוד ולחשב את נפח הבסיס לשם כך).

משימה: שימוש במערכת

1. נמדוד את המרחק מהחיישן לתחתית הכוס הריקה ונרשום נתון זה
2. נמלא את הכוס עד לחצייה ונציב אותה מתחת לחיישן - נרשום את קריאת החיישן
3. נחשב את גובה המים בכוס.
4. כעת נמדוד בעזרת סרגל את גובה המים בכוס ונשווה בין מדידת הסרגל ומדידת החיישן (המחושבת)
5. נבצע את סעיפים 1-4 עבור כמות מים שונה בכוס.

דיון: הציעו יישומים שונים שיכולים להיות למדידת גובה מים בכלי. כיצד הייתם משלבים זאת עם רכיב הניתן להפעלה?

תשובה אפשרית: יישום אפשרי יכול להיות מדידת כמות הגשם על ידי אגירתו בכלי ומדידת הכמות המצטברת. אפשר למשל לחבר למערכת מסך כדי לקרוא מהי כמות הגשם המצטברת, ואפשר לחבר למערכת לד להתראה על שינוי כמות המים: ארוץ גשם. ואפשר אפילו לחבר לברז חשמלי, כך שאם לא ירדה כמות מסויימת של גשם באותו היום, הברז יפתח לזמן מסויים.

משימת הרחבה 1: הדלקת לד להתראה על מרחק קטן בעזרת חיישן מרחק אולטרא-סוני [30 דקות]

כעת נשלב בין שני המעגלים שבנינו בחלקים הקודמים ונבנה ביחד:

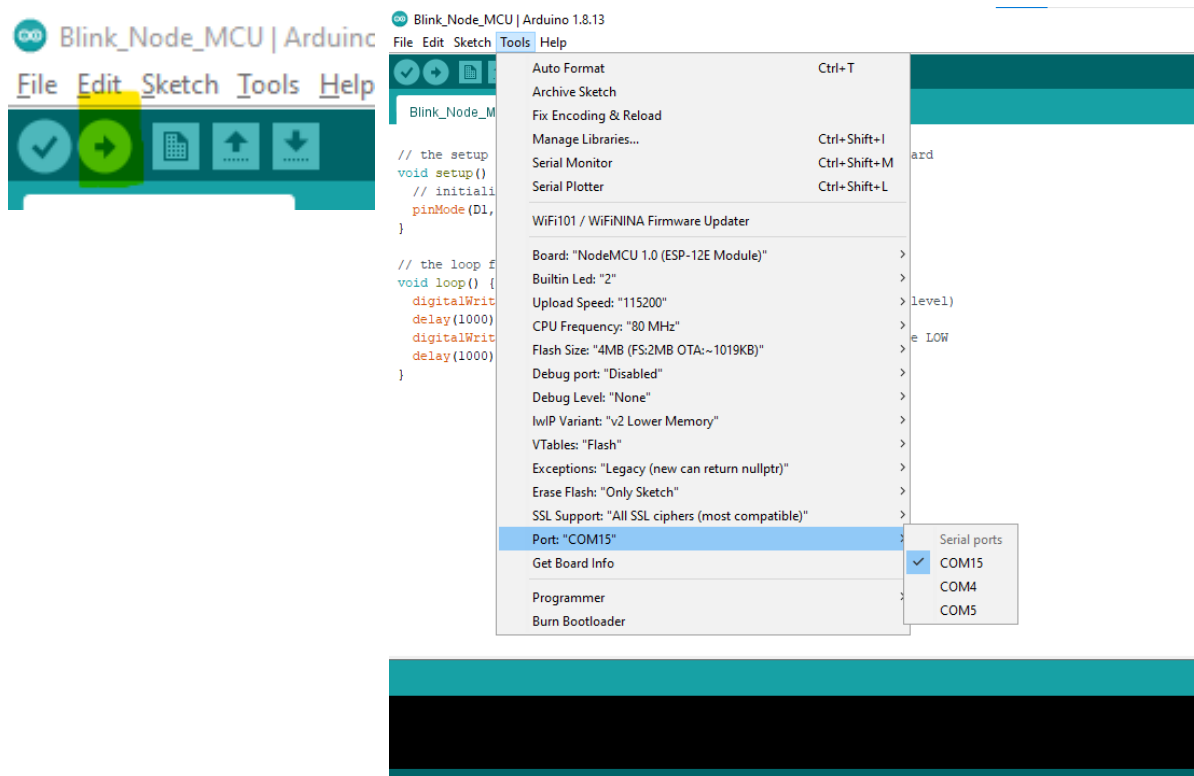
1. מעגל חישת מרחק מבוסס חיישן מרחק אולטרא-סוני
 2. מעגל להפעלת נורה
- המערכת תמדוד מרחק ותדליק נורה אם המרחק הנמדד לעצם הקרוב קטן מערך סף מסויים (למשל 10ס"מ)

אם אין בידכם מעגל מוכן, נתבסס על המעגל שבסעיף הקודם, נחבר את נורת הלד אל המעבד על פי ההוראות [בנספח 5](#):

(לחלופין, קיימות הוראות לבניית המעגל במצגת שמלווה את הפרק הזה, עם שקופיות שמדגימות את בניית המעגל שלב אחר שלב)

כדי להפעיל את המעגל:

1. הריצו את סביבת התוכנה של הארדואינו וחברו את המעבד (NodeMCU) למחשב בעזרת כבל החיבור.
2. העתיקו את התוכנה מ**נספח 6** לקובץ זה (התוכנה מופיעה גם בהערה במצגת) אל סביבת העבודה של הארדואינו,
3. ביחרו ב-port המתאים
4. לחצו על הכפתור (מסומן בשרטוט) להעלאת התוכנה אל המעבד.



משימה: שימוש במערכת

1. בידקו את קריאת המערכת - קחו עצם כלשהו וקרבו אותו בהדרגה אל החיישן. התחילו במרחק של 20 ס"מ וקרבו אותו בכל פעם בס"מ. בצעו זאת מספר פעמים.
מתי נדלקה הנורה?
תשובה: המערכת תוכננה כך שהנורה תדלק כשהעצם במרחק הקטן או שווה ל 10 ס"מ. כמובן שתיתכן סטייה קלה במרחק ההפעלה המדויק וכבר דיברנו על הגורמים לטעות בחלקים הקודמים.
2. השוואה למערכת מדידת המרחק ברכב - רישמו באילו אופנים המערכת שבניתם דומה למערכת מדידת המרחק ברכב מבחינת הרכב המערכת ופעולתה
תשובה: מערכת מדידת המרחק ברכב, כמו המערכת שלנו כוללת בדרך כלל חיישני מרחק ומערכת עיבוד שקוראת את החיישנים. מערכת מדידת המרחק ברכב מפעילה, בדרך כלל, התראה קולית (זמזם) בעוד המערכת שלנו מפעילה נורת לד. מערכת הבקרה ברכב כוללת בדרך כלל מספר חיישני מרחק. חיישנים אלו הם לעיתים חיישנים אולטרסוניים, כמו החיישן שלנו, ולעיתים חיישנים מסוג אחר.
3. מה דעתכם - האם המערכת שבנינו היא מערכת משוב כמו שהכרנו בעבר? נמקו
תשובה: המערכת כפי שבנינו אותה איננה מערכת משוב. היא אמנם כוללת חיישן (חיישן מרחק אולטרסוני), מעבד (NodeMCU) ואף הפעלה של נורה אך היא איננה יוצרת פעולה לגורם הנמדד (מרחק העצם). אם נתייחס גם לבן האדם (שמקרב את העצם או נוהג במכונית) הרי שההתראה שתתקבל (על ידי נורה ועל ידי הזמזם ברכב) יגרמו לו להרחיק את העצם או ללחוץ על הבלם ובכך יבצע פעולה שמשפיעה על הגורם הנמדד. כלומר - אם נתייחס גם לפעולת האדם כתוצאה מההתראה נוכל להסתכל על המערכת כולה כמערכת משוב.

משימת הרחבה 2: התעמקות בתוכנה - שינוי המרחק [15 דקות]

לעיתים נרצה לשנות את המרחק שבו הנורה נדלקת. נעשה זאת בעזרת שינוי הקוד (התוכנה) בלבד. נשתמש באותה המערכת שבמשימת הרחבה 1 (סעיף 2.6)

הקוד:

```
void loop() {
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  distance = (duration * 0.034 / 2);
  Serial.print("Distance: ");
  Serial.print(distance);
  Serial.println(" cm");
  if (distance < 10)
  {
    digitalWrite(LEDPin, HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(LEDPin, HIGH);
    delay(blinkDelay);
    digitalWrite(LEDPin, LOW);
    delay(blinkDelay);
  }
  else
  {
    digitalWrite(LEDPin, LOW);
    delay(1000);
  }
}
```

הפעלת חיישן המרחק

מדידת הזמן

חישוב המרחק

בדיקת תנאי המרחק

הדלקת הנורה וכיבוייה
אם המרחק קטן מ-10 ס"מ

אחרת הנורה נשארת כבוייה

שאלה: לאיזה צורך יכול לשמש שינוי המרחק אם נרצה ליצור מערכת משוב?

תשובה: מדובר ביכולת לשנות את הערך הרצוי (setpoint) שעליו רוצים לקבל התראה, או שממנו והלאה רוצים שהמערכת תגיב.

שאלה: הסתכלו על הקוד (התוכנה) שבנספח 6 וזהו את החלק שגורם להדלקת הנורה במרחק של 10 ס"מ. שנו מרחק זה ל 15 ס"מ. בדקו האם הצלחתם.

תשובה: החלק הרלוונטי בתוכנה הוא זה המופיע כאן מטה. המשתנה שמאחסן את המרחק שנקרא מהחיישן הוא המשתנה ששמו distance. השורה הראשונה בתוכנה הנ"ל היא הבדיקה אם המרחק קטן מ 10 ועלנו לשנותה אם ברצוננו לשנות את מרחק הפעלת הנורה.

```
if(distance<10)
  digitalWrite(LEDPin, HIGH);
else
  digitalWrite(LEDPin, LOW);
```


משימת הרחבה 3 למתקדמים: חיישן רוורס - מערכת המגיבה באופן משתנה

לסביבה [45 דקות]

נשתמש באותו מעגל כמו במשימת הרחבה 2.5, מעגל הכולל מעבד, חיישן מרחק, ונורת לד.

נדרוש כשמרחק מהעצם קטן מ- 10 ס"מ:

- הנורה תדלק ותתחיל להבהב
 - ההבהוב יעשה מהיר יותר ככל שהעצם מתקרב אל החיישן (עד מרחק של 2 סנטימטר)
- לשם כך נכיר

- את פקודת ה Map
- את מבנה התוכנה שתאפשר לגרום לנורה להבהב בקצב משתנה

פקודת ה Map מאפשרת להמיר תחום ערכים אחד בתחום ערכים שני:

- אם נכתוב $\text{map}(x, 1, 10, 11, 20)$ הפקודה תחליף את הערכים של x בין 1 ל-10, כך שיהיו בין 11 ל-20.
- אם נכתוב $\text{map}(x, 1, 10, 500, 1000)$ הפקודה תחליף את הערכים של x שהיו בין 1 ל-10, כך שייפרסו באופן שווה בין 500 ל-1000.

שאלה: ערכים של איזה גודל נמדד נרצה להמיר כדי שקצב ההבהוב ישתנה עם המרחק?

תשובה: כדי שקצב ההבהוב ישתנה כתלות במרחק נרצה להמיר את ערכי המרחק לערכים של זמן

כדי שההבהוב ישתנה נשתמש בערכי המרחק ונמיר אותם לערכים של זמן. הזמן שאנחנו משתמשים בו באופן התחלתי להבהוב הוא 1000 מילישניות. המרחק שהמערכת אמורה לפעול בו הוא בין 2 ס"מ ל-10 ס"מ (יותר קרוב מ-2 ס"מ החיישן אינו מדויק)

שאלה: מה יהיו הערכים שיופיעו בפונקציית ה map?

$\text{map}(\text{distance}, 2, 10, 100, 1000)$

נשתמש בקוד הבא, ונכניס אותו במקום החלק מ- $\text{if}(\text{distance} < 10)$ ועד ה- else

```
if (distance < 15)
{
    blinkDelay = map(distance, 2, 15, 100, 1000);
    digitalWrite(LEDPin, HIGH);
    delay(blinkDelay);
    digitalWrite(LEDPin, LOW);
    delay(blinkDelay);
}
else
{
    digitalWrite(LEDPin, LOW);

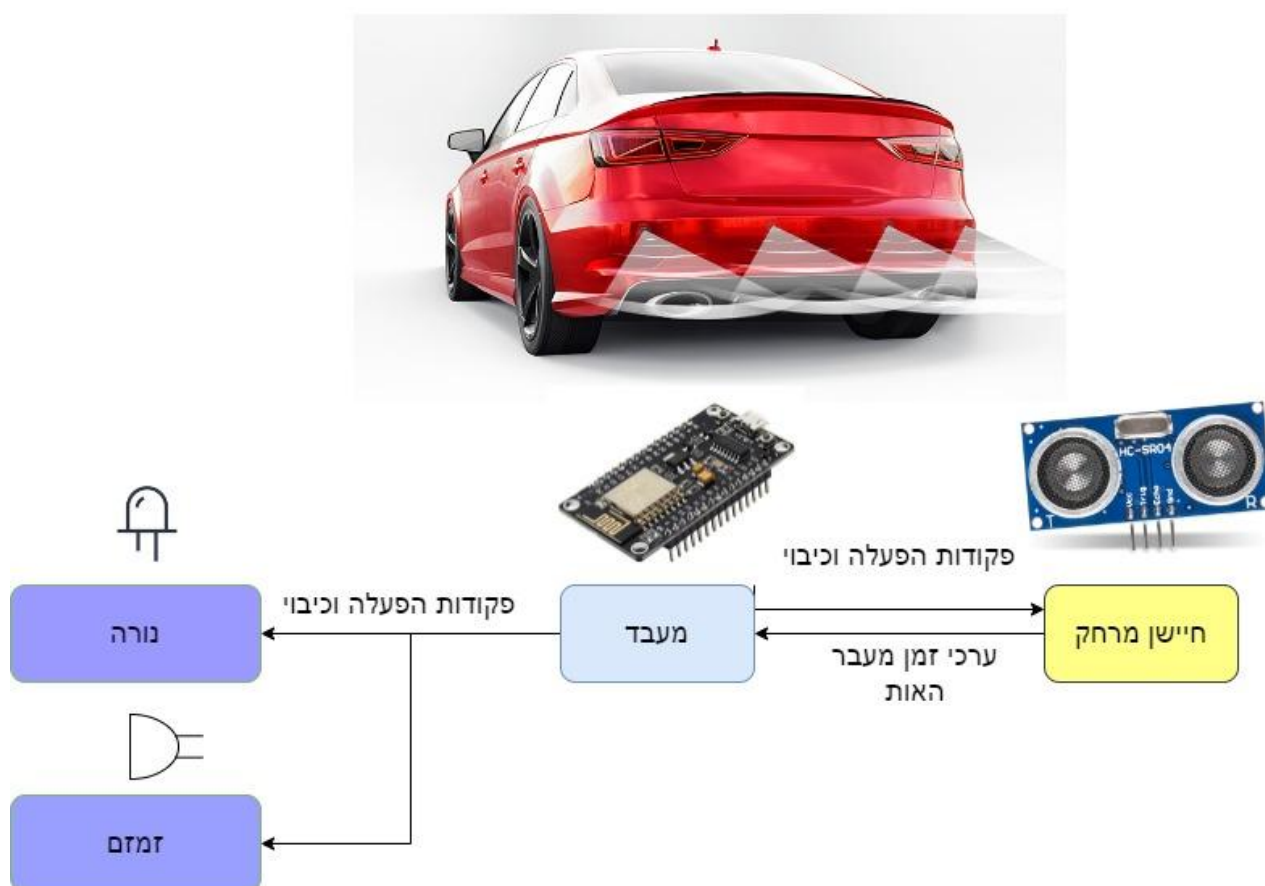
    delay(1000);
}
```

נסו את המערכת עבור מרחקים שונים. וודאו שהנורה מהבהבת מהר יותר ככל שהמכשול קרוב יותר לחיישן. שנו את הערכים בפקודת ה- map כדי לשלוט במרחקים ובקצבי ההבהוב.

איירו תרשים מלבנים המתאר את המערכת שבניתם.

תשובה:

מערכת חישת מרחק ברכב



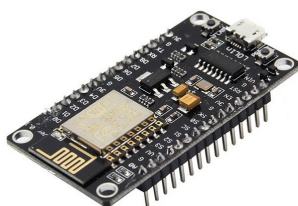
נספח 1

בניית מעגל הכרות עם המעבד והבהוב נורת לד

רכיבים

לצורך התנסות זו אתם צריכים:

1. מעבד NodeMCU (גירסת LOLIn)



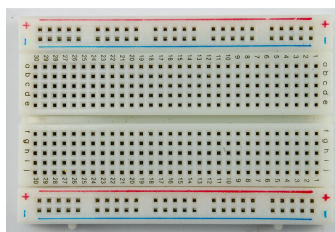
2. נורת לד



3. נגד בעל ערך בתחום 220-330 אוהם
(הערך המדויק אינו חשוב)



4. מטריצת חיבורים



5. מספר חוטי חיבור זכר-זכר



כיצד נדע איך להרכיב את המעגל?

תהליך הבנייה מודגם שלב אחר שלב בקובץ זה.

שימו לב שהדרך המומלצת לעקוב אחרי תהליך ההרכבה היא באמצעות המצגת המלווה, שכן התמונות מוצגות בצורה ברורה יותר.

ניתן לעקוב אחר התהליך גם בסרטון : <https://youtu.be/OZXURCFi7Bo>

שלבי ההרכבה:

כל קבוצה תקבל את הרכיבים הנ"ל ותבנה את המעגל על פי השלבים הבאים:

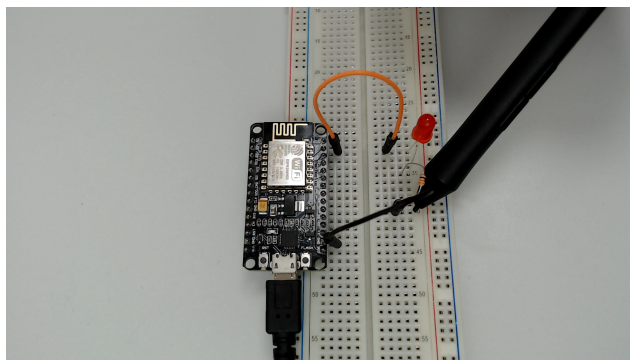
1. חברו את המעבד למטריצה כפי שמודגם בתמונה (שורה אחת של פינים נשארת מחוץ למטריצה).
2. חברו חוט חיבור ראשון בין השורה של יציאת D1 של המעבד לצידה השני של המטריצה



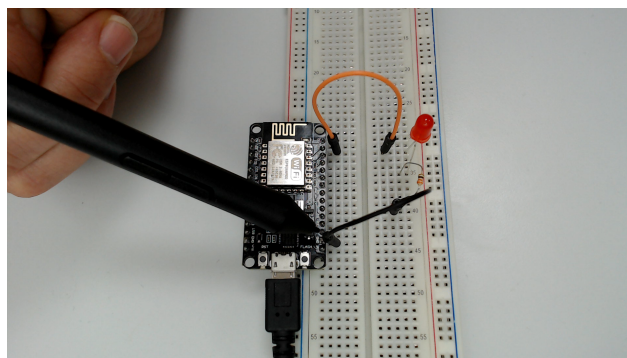
3. חברו את נורת הLED כפי שמודגם בסרטון: רגל ארוכה אל השורה אליה מחובר חוט החיבור ורגל קצרה לשורה חדשה



4. חברו את הנגד בין שתי שורות - צד אחד לאותה שורה אליה מחוברת הרגל הקצרה של נורת הלד וצד שני לשורה אחרת



5. חברו חוט חיבור בין הצד השני של הנגד ובין יציאת ה GND של המעבד



נספח 2

תוכנה למעגל מעבד-נורה

התוכנה:

// the setup function runs once when you press reset or power the board

```
void setup() {
```

```
  // initialize digital pin D1\GPIO5 as an output.
```

```
  pinMode(D1, OUTPUT);
```

```
}
```

// the loop function runs over and over again forever

```
void loop() {
```

```
  digitalWrite(D1, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
```

```
  delay(1000);           // wait for a second
```

```
  digitalWrite(D1, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
```

```
  delay(1000);           // wait for a second
```

```
}
```

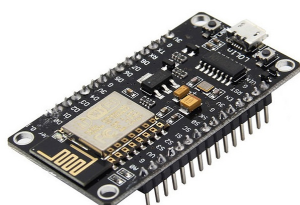
נספח 3

חיבור חיישן מרחק HC-SR04 והפעלתו על ידי המעבד

רכיבים:

לצורך שיעור זה אתם צריכים:

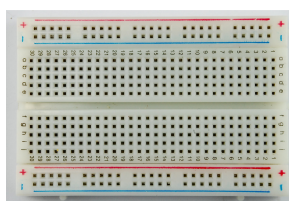
1. מעבד NodeMCU (גירסת LOLIn)



2. חיישן מרחק HC-SR04



3. מטריצת חיבורים (לא חובה)



4. מספר חוטי חיבור: זכר-זכר (אם משתמשים במטריצה) או נקבה נקבה (כדי לחבר ישירות מהפינים של רכיב אחד לשני)



כיצד נדע איך להרכיב את המעגל?

בחלק זה נחבר את חיישן המרחק אל מעבד ה NodeMCU

תהליך הבנייה מודגם שלב אחר שלב בקובץ זה.

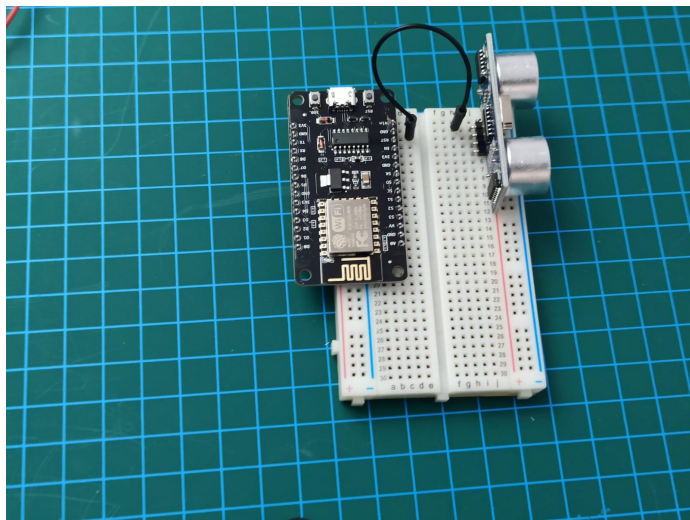
שימו לב שהדרך המומלצת לעקוב אחרי תהליך ההרכבה היא באמצעות המצגת המלווה, שכן התמונות מוצגות בצורה ברורה יותר.

ניתן לעקוב אחר התהליך גם בסרטון : <https://www.youtube.com/watch?v=l8jTlbpcIK8>

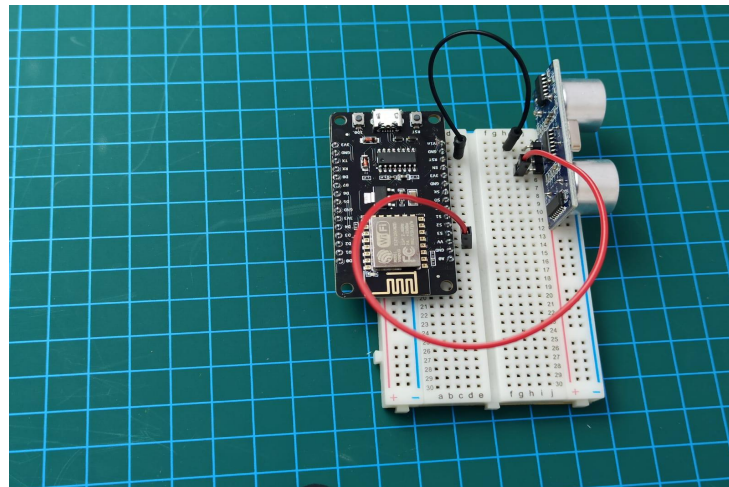
חיבור חיישן מרחק למעבד - מהלך הפעילות

שלבי ההרכבה:

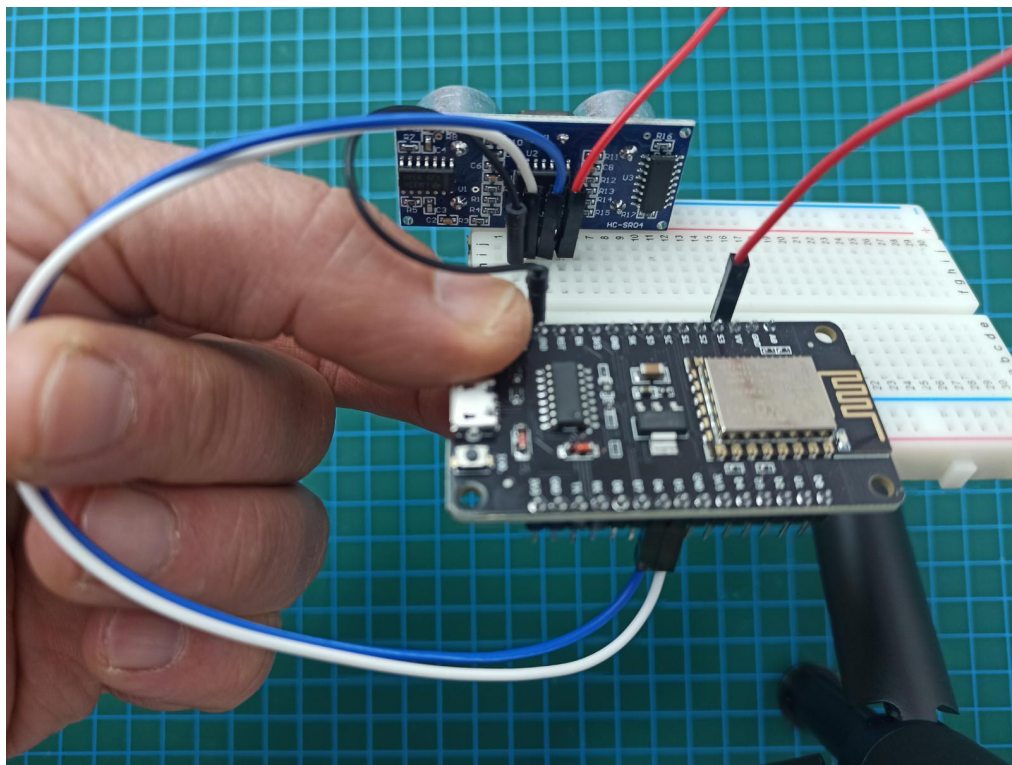
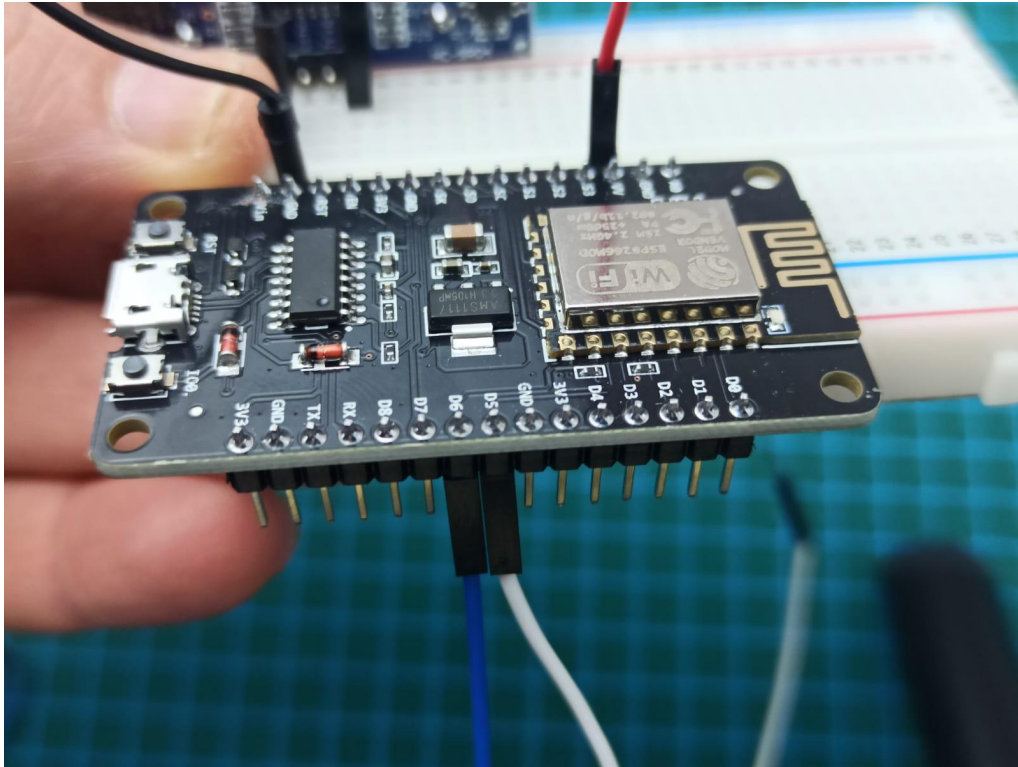
1. חברו את המעבד למטריצה כפי שמודגם בתמונה (שימו לב: שורת פינים אחת של המעבד נשארת מחוץ למטריצה).
2. חברו חוט חיבור ראשון בין יציאת ה GND של המעבד לכניסת ה GND של החיישן



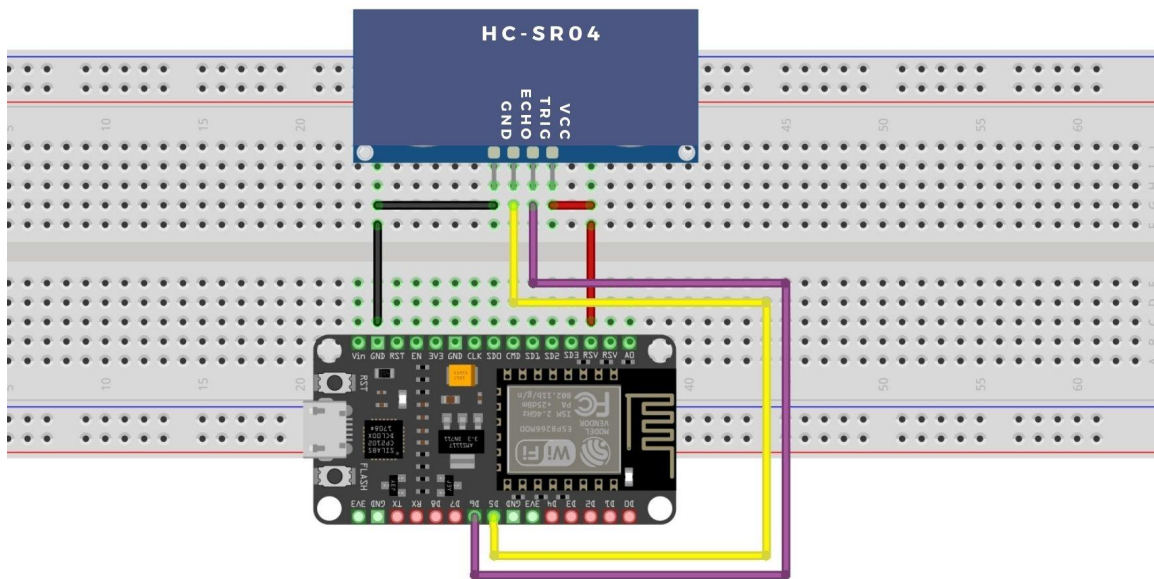
3. חברו חוט חיבור נוסף בין יציאת המתח VV של המעבד של המעבד לכניסת ה Vcc של החיישן



4. חברו את D5 (מסומן גם GPIO14) במעבד ל Echo של החיישן ואת D6 (מסומן גם GPIO12) של המעבד ל Trig של החיישן



נראה את התוצאה גם בדיאגרמת חיבורים חשמלית:



fritzing

נספח 4

תוכנה להפעלת חיישן המרחק האולטראסוני

התוכנה שיש להעלות למעבד:

```
//The software to upload:

#define echoPin 14 //The echopin is D5
#define trigPin 12 //The trigpin in is D6
float duration; // variable for the duration of sound wave travel
float distance; // variable for the distance measurement
void setup() {
    Serial.begin(115200);
    pinMode(trigPin, OUTPUT); // Sets the trigPin as an OUTPUT
    pinMode(echoPin, INPUT); // Sets the echoPin as an INPUT
}
void loop() {
    //Trigger the sensor to send the ultrasonic signal
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
    distance = (duration * 0.034 / 2); // Speed of sound * wave travel time divided by 2 (2
ways)
    Serial.print("Distance: ");
    Serial.print(distance);
    Serial.println(" cm");
    delay(2000);
}
```

נספח 5

בניית מעגל להתראת מרחק

רכיבים נוספים לרכיבים שבנספח 3

לצורך שיעור זה אתם צריכים בנוסף:

1. נורת לד



2. נגד בעל ערך בתחום 220-330 אוהם
(הערך המדויק אינו חשוב)



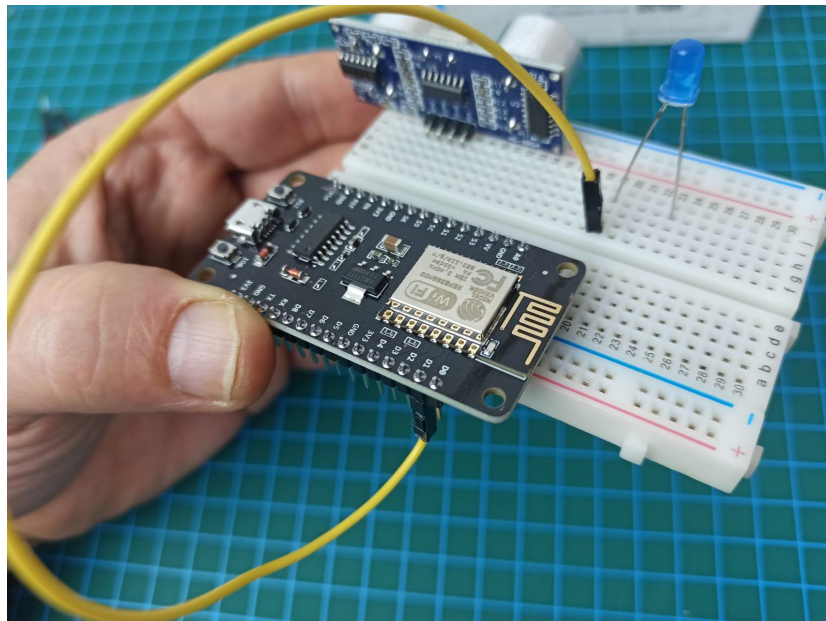
הוספת נורת לד למעגל מדידת המרחק - מהלך הפעילות

נמשיך את הפעילות באותן קבוצות שבנו את מערכת מדידת המרחק. כל קבוצה תקבל את הרכיבים הנוספים הנ"ל ותבנה את המעגל על פי השלבים הבאים (מופיעים גם במצגת):

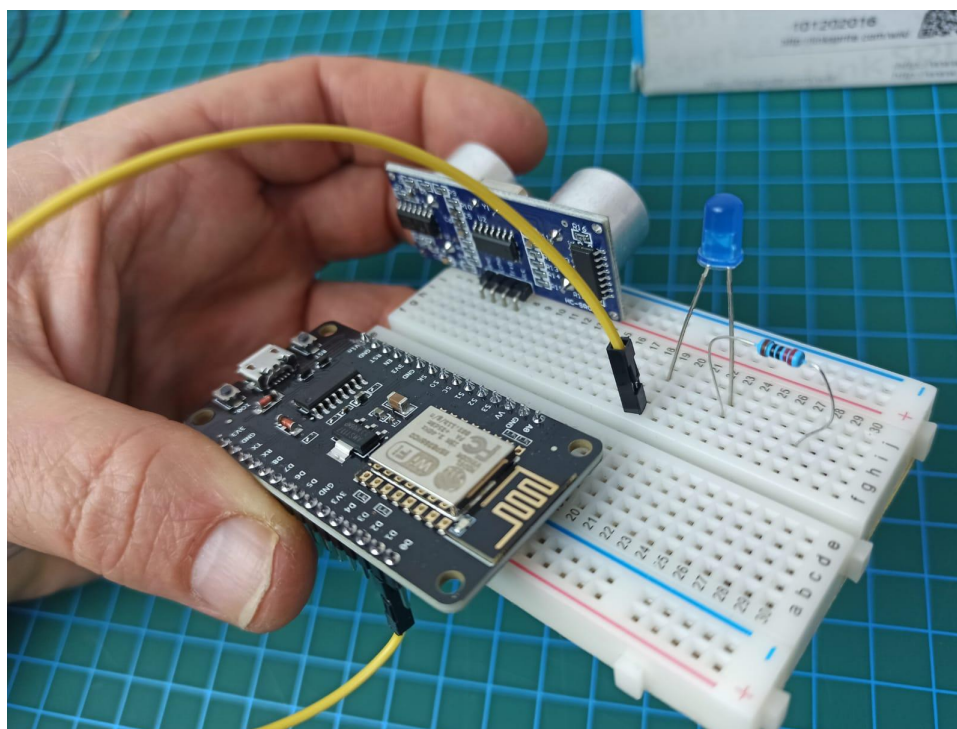
שלבי ההרכבה וההרצה :

הערה: לצורך הבהירות הסרנו בתמונות את חיבורי החיישן כדי שניתן יהיה לראות את חיבורי הנורה, עליכם להשאיר גם את החיישן מחובר כדי שמערכת ההתראה תעבוד.

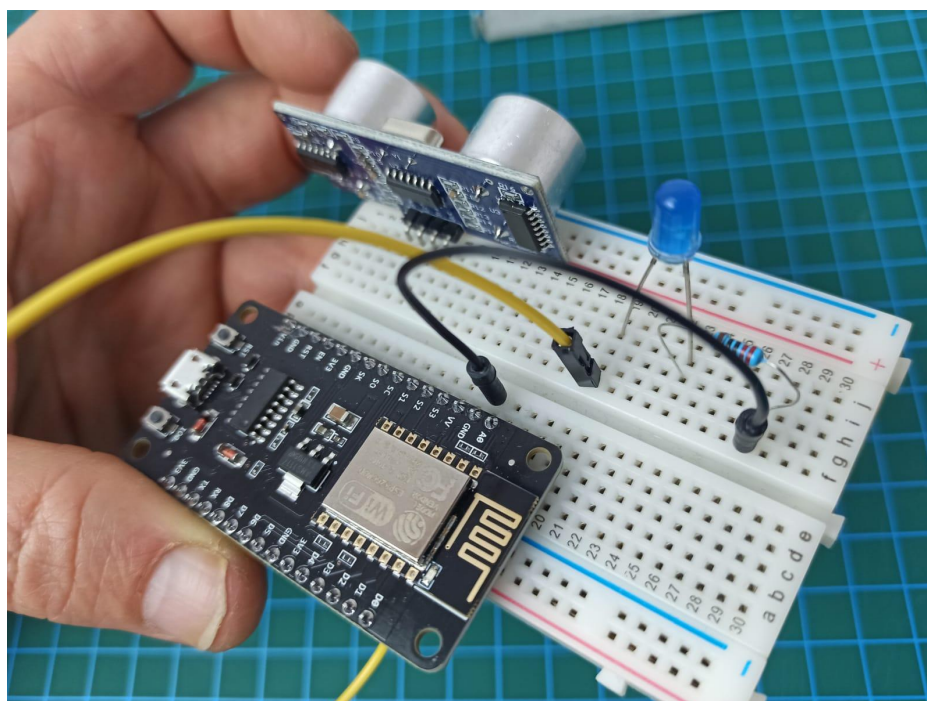
1. חברו את נורת הלד למטריצה על פי הציור וחברו חוט חיבור ראשון בין יציאת D1 של המעבד לשורה אליה חיברתם את הרגל הארוכה של הנורה.



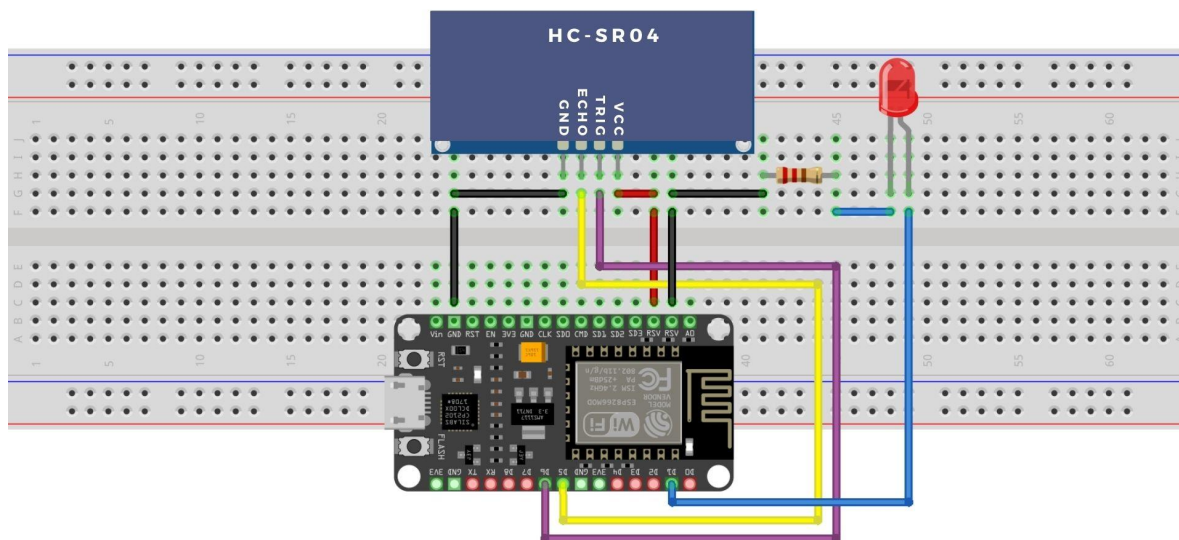
2. חברו נגד של 330 אוהם - רגל אחת באותה שורה אליה חיברתם את הרגל הקצרה של נורת הLED ורגל שנייה בשורה נוספת



3. חברו את צידו השני של הנגד ליציאת ה GND של ה NodeMCU



נראה את התוצאה גם בדיאגרמת חיבורים חשמלית:



fritzing

נספח 6

תוכנה להפעלת מערכת ההתראה

התוכנה שיש להעלות למעבד:

```
#define echoPin 14 // של החיישן האולטרסוני (Echo) הפין אקו

#define trigPin 12 // של החיישן האולטרסוני (trig) הפין טריג

#define LEDPin 5 // של החיישן האולטרסוני (trig) הפין טריג

float duration; // variable for the duration of sound wave travel

float distance; // variable for the distance measurement

float blinkDelay;

void setup() {

    Serial.begin(115200);

    pinMode(trigPin, OUTPUT); // Sets the trigPin (D6) as an OUTPUT

    pinMode(echoPin, INPUT); // Sets the echoPin (D5) as an INPUT

    pinMode(LEDPin, OUTPUT); // Sets the LEDPin (D1) as an OUTPUT

}

void loop() {

    //Trigger the sensor to send the ultrasonic signal
```

```
digitalWrite(trigPin, LOW);
```

```
delayMicroseconds(2);
```

```
digitalWrite(trigPin, HIGH);
```

```
delayMicroseconds(10);
```

```
digitalWrite(trigPin, LOW);
```

```
duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
```

```
distance = (duration * 0.034 / 2); // Speed of sound * wave travel time divided by 2 (2  
ways)
```

```
Serial.print("Distance: ");
```

```
Serial.print(distance);
```

```
Serial.println(" cm");
```

```
if (distance<10)
```

```
    digitalWrite(LEDPin, HIGH);
```

```
else
```

```
    digitalWrite(LEDPin, LOW);
```

```
    delay(1000);
```

```
}
```

נספח 7

תוכנה להפעלת מערכת התראה עם הבהוב משתנה

התוכנה שיש להעלות למעבד:

```
#define echoPin 14 // של החיישן האולטרסוני (Echo) הפין אקו
#define trigPin 12 // של החיישן האולטרסוני (trig) הפין טריג
#define LEDPin 5 // של החיישן האולטרסוני (trig) הפין טריג
float duration; // variable for the duration of sound wave travel
float distance; // variable for the distance measurement
float blinkDelay;
void setup() {
    Serial.begin(115200);
    pinMode(trigPin, OUTPUT); // Sets the trigPin (D6) as an OUTPUT
    pinMode(echoPin, INPUT); // Sets the echoPin (D5) as an INPUT
    pinMode(LEDPin, OUTPUT); // Sets the LEDPin (D1) as an OUTPUT
}

void loop() {
    //Trigger the sensor to send the ultrasonic signal
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    duration = pulseIn(echoPin, HIGH);

    distance = (duration * 0.034 / 2); // Speed of sound * wave travel time divided by 2 (2
ways)
```

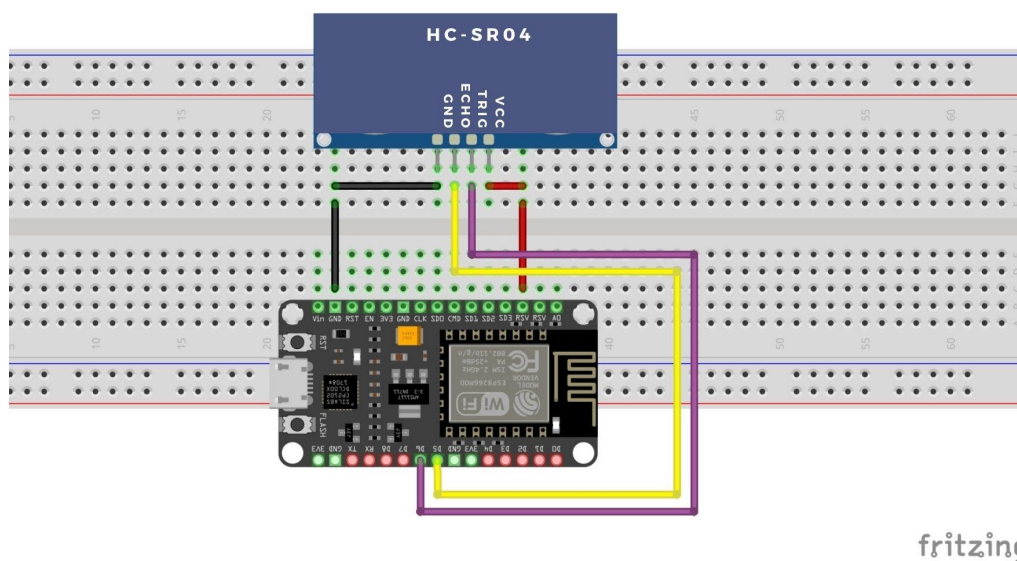
```
Serial.print("Distance: ");  
Serial.print(distance);  
Serial.println(" cm");  
if (distance<15)  
{  
  blinkDelay= map(distance, 2,15, 100,1000);  
  digitalWrite(LEDPin, HIGH);  
  delay(blinkDelay);  
  digitalWrite(LEDPin, LOW);  
  delay(blinkDelay);  
}  
else  
{  
  digitalWrite(LEDPin, LOW);  
  delay(1000);  
}  
}
```

נספח 8 מידת גובה הנוזל בכלי עם חצובה יעודית

בפעילות זו נשתמש במעגל מידת המרחק שבנינו בנספח 3 ונחבר אותו לחצובה שנבנה כדי למדוד את כמות המים בכוס.

רכיבים: לצורך שיעור זה אתם צריכים:

1. את מעגל מידת המרחק שבניתם בנספח 3 (חישן מרחק HC-SR04 מחובר למעבד NodeMCU)



2. חצובת עץ שנייצר בחיתוך לייזר על פי התיכון שנמצא בקישור, או כן סטנדרטי של מעבדה:

<https://cad.onshape.com/documents/0d05bbeeced81e7ffac3f9f/w/1db9ce5aacc9e0c930ab53fb/e/32a56d773378d03264eed298>



3. כוס מים



הוראות הרכבה

אפשרות 1: בניית חצובה מחלקי עץ שנחתכו בחותך לייזר
החצובה בנוייה מ- 4 חלקים: 3 רגליים, משטח מדידה עגול.
ההרכבה פשוטה מאוד:

1. הכניסו בכח את השגמים שבולטים בקצה כל רגל אל המגרעות במשטח במדידה.
2. מקמו את המעגל החשמלי כך שהמשדר והמקלט של מד המרחק האולטרסוני יבלטו ממשטח המדידה ויפנו כלפי מטה.
3. מקמו את הכוס בדיוק מתחת למדר והמקלט

אפשרות 2: חיבור מעגל המדידה לכן מדידה סטנדרטי
אם אין באפשרותכם לבנות את החצובה הנ"ל ניתן להשתמש בכן מדידה סטנדרטי של מעבדה ולחבר אליו את מעגל מדידת המרחק כמופיע בצילום

