

מהי בקרה ואיך מבצעים אותה?

הקדמה:

בפרקים הקודמים ראינו שכדי לאפשר גידול תקין של צמחים יש לספק להם סביבה שמאפייניה: טמפרטורה, מים, מזון, קרקע ועוד נשמרים בטווח תקין. כדי לשמור על גודל פיסיקלי מסויים בטווח ערכים רצוי, עלינו לבצע תהליך של בקרה. תהליך זה שונה ממערכת למערכת אך יש בו מספר סוגי פעולות קבועות: מדידה, השוואה וקבלת החלטות, הפעלה וביצוע שינויים. פעולות אלו מבוצעות במערכת בקרה טיפוסית על ידי מרכיבי השונים של המערכת. בפרק זה נבין את הפעולות הבסיסיות שנדרשות בתהליכי בקרה על ידי ביצוע התנסויות פשוטות - ייצוב מקל על כף היד, ופעילות מקוונת של וויסות ריכוז תמיסה על ידי הוספת מים ומומס לסירוגין. ננתח את הפעולות ואת המרכיבים של מערכת בקרה ביולוגית המוכרת לנו - בקרת הטמפרטורה בגוף האדם.

נבין גם מהי מערכת משוב ומה תפקידה בביצוע בקרה. לסיום נציג תרשים המתאר את המרכיבים של מערכת בקרה כללית ואת המבנה שלה.

מטרות:

- התלמידים יבינו את הצורך במערכות בקרה
- התלמידים יתנסו בביצוע פעולות הנדרשות לביצוע בקרה
- התלמידים יכירו את המרכיבים של מערכת בקרה ואת המבנה שלה

משך זמן

90 דקות

גיל

חט"ב - חט"ע

התאמה לתחומי דעת

מדע וטכנולוגיה

ידע מוקדם

לא נדרש

מושגים מרכזיים

סביבה מבוקרת, בקרה, חיישן, מעבד, מפעיל, מערכת משוב, משוב שלילי, תרשים מלבנים

מיומנויות נלמדות

תיאור מערכת על ידי תרשים מלבנים

להכין מראש

לכל קבוצה: מקל קצר (חצי אורך של מקל מטאטא), מחשב
לכל זוג: נספח 1 מודפס

דגם הוראה

שלב	תיאור הפעילות	זמן דק'	סוג פעילות	עזרים
1.	מהי "סביבה מבוקרת"? תזכורת על הצורך של צמחים בשמירה על טווח ערכים תקין של מאפייני הסביבה. הכרות עם המושגים: סביבה מבוקרת, בקרה, תהליך בקרה	10	 מידע - תזכורת	לכל השיעור: מצגת מלווה מחשב מחובר למקרן
2.	התנסות מעשית בבקרה תהליך בקרה 1 - התנסות פיזית: ייצוב מקל על כף היד תהליך בקרה 2 - התנסות מתוקשבת: סימולציה איזון ריכוז של תמיסה	25	 התנסות פעילה  פעילות מתוקשבת  דיון	לכל קבוצה: מקל קצר (חצי אורך של מקל מטאטא), מחשב
3.	בקרה במערכות ביולוגיות תהליך בקרה 3 - בקרת הטמפרטורה בגוף האדם ניתוח תהליך בקרת הטמפרטורה בגוף - עבודה בזוגות משימה למתקדמים - תרשים המערכת	20	 הקנייה  עבודה בזוגות	לכל זוג: דף פעילות "ניתוח תהליך בקרת הטמפרטורה בגוף האדם" - נספח 1
4.	תרשים מלבנים של מערכות בקרה המרכיבים של מערכת בקרה והקשרים ביניהם	10	 הקנייה	
5.	מערכת משוב שלילי הבנת המשמעות של משוב שלילי פעילות מתוקשבת לתרגול	15	 פעילות מתוקשבת	
6.	לסיכום - מדברים בשפה טכנולוגית סיכום תהליך הבקרה על טמפרטורת הגוף תוך שימוש במונחים טכנולוגיים	10	 דיון	

מהי סביבה מבוקרת? [10 דקות]

בפרק "מה צמחים צריכים?" היכרנו את צרכי הקיום החיוניים לגידול והתפתחות של צמחים. ראינו גם שכדי לאפשר גידול תקין, הצמחים זקוקים לסביבה שהמאפיינים השונים שלה נשמרים בטווח תקין מסוים. ערכים גבוהים מדי או נמוכים מדי של מים, טמפרטורה, מזון וכו', יפגעו בגידול ובהתפתחות התקינה. בטבלה מופיעות מספר דוגמאות לבעיות הנגרמות כאשר מאפייני הסביבה השונים של צמח חורגים מהטווח התקין.

הגורם הנמדד	כמות גבוהה מדי	כמות נמוכה מדי	הערות
מים	מחסור בחמצן בשורשים, ריקבון	נבילה, פגיעה בפוטוסינתזה	
מזון - זרחן	דיכוי בספיגה של מינרלים אחרים	התפתחות איטית של הצמח	קיימים חומרי מזון רבים נוספים
אור	עודף חום, ויצור מוגזם של חמצן בכלורופיל	הצמח לא ייצר מספיק סוכר ולכן לא יתפתח	
טמפרטורה	הצמח יגביר תהליכים, אך הוא עלול להגביר את הנשימה יותר מאשר את הפוטוסינתזה, וכך לנצל את מאגרי הסוכר.	הצמח יפחית פוטוסינתזה, עלול להפסיק לגדול ולצבור סוכרים.	טמפרטורה נמוכה תגרום מצד אחד לצמחים קטנים ולמעט פירות, אך מצד שני הפירות יהיו מתוקים.

לסביבה שערכיה נשמרים באופן פעיל בטווח תקין מסוים אנחנו קוראים "סביבה מבוקרת". לפעולות שאנחנו עושים כדי לשמור על הסביבה "מבוקרת" אנחנו קוראים "בקרה" או "תהליך בקרה". בואו נתנסה בתהליכי בקרה. נבצע שתי התנסויות ונבין מהו תהליך הבקרה המבוצע בכל אחת מהן.

התנסות מעשית בבקרה [25 דקות]

כדי להבין את הפעולות הבסיסיות שדרושות בתהליכי בקרה, נבצע בכיתה שתי התנסויות פשוטות: **תהליך בקרה 1 - התנסות פיזית: ייצוב מקל על כף היד**



המשימה: לייצב מקל של מטאטא על כף היד, כמו באיור:

הערה: רצוי לייצב מקל שאורכו כמחצית האורך של מקל של מטאטא.

ננתח את ההתנסות שביצענו על פי הקריטריונים הבאים:

1. מהו הגורם המבוקר? (תשובה: מיקום המקל ביחס לכף היד)
2. מה מטרת הבקרה? (תשובה: שמירת המקל על גבי כף היד ומניעת נפילתו)
3. אילו פעולות נקטנו בתהליך הבקרה? (תשובה: הזזת כף היד)
4. איך ידענו אילו פעולות לנקוט? (תשובה: אינטואיציה, המוח לומד לעשות פעולה הפוכה לתנועת המקל)

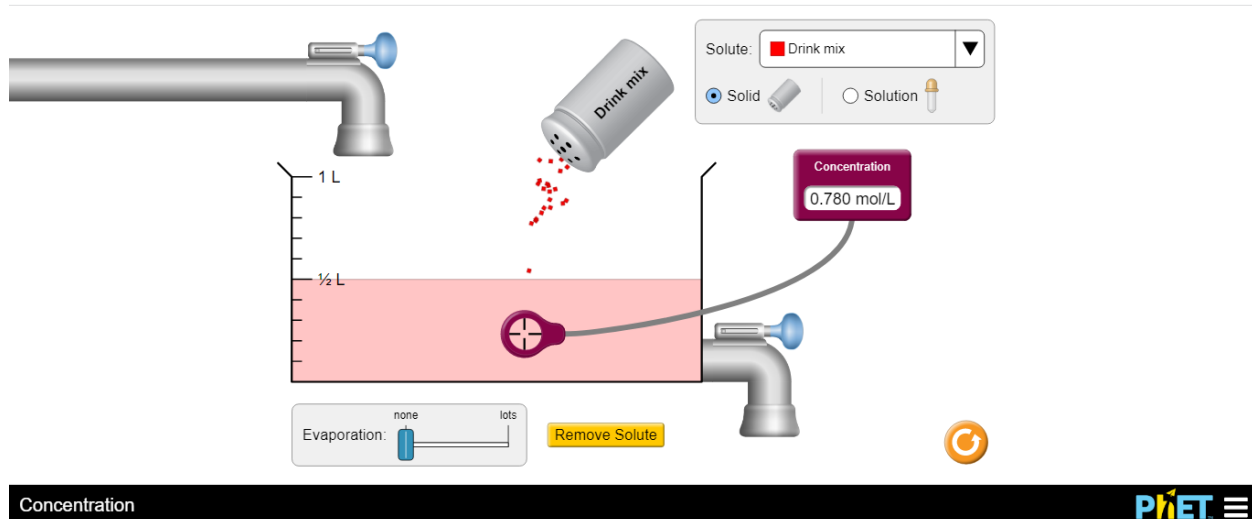
הידעתם? שיא גינס לאיזון מקל הוקי על אצבע אחת נקבע ב 2021 והוא 06:05:50 שעות

תהליך בקרה 2 - התנסות מתוקשבת: סימולציה איזון ריכוז של תמיסה



ההתנסות תבוצע באתר PHET בסימולציה "בקרת ריכוז מומס במיכל":

https://phet.colorado.edu/sims/html/concentration/latest/concentration_en.html



המשימה: למלא את המיכל **בחצי ליטר** של נוזל כשריכוז המומס הוא בדיוק 1.0 מול לליטר (השאירו את קצב ההתאדות על 0)

האמצעים:

1. הוספת מים (על ידי הברז העליון)
2. הוספת מומס (על ידי טילטול ה"מלחיה")
3. ריקון המיכל על ידי הברז התחתון

הערה: ניתן לבצע את המשימה כתחרות בין קבוצות או בין כל התלמידים.

ננתח את ההתנסות על פי הקריטריונים הבאים:

1. מהו הגורם המבוקר? (תשובה: ריכוז המומס בתמיסה)
2. מה מטרת הבקרה? (תשובה: שמירה על ריכוז של 1 מול לליטר)
3. אילו פעולות נקטנו בתהליך הבקרה? (תשובה: הוספת מים, הוספת מומס, ריקון תמיסה)
4. איך ידענו אילו פעולות לנקוט? (תשובה: יכולנו להגיב לערך המספרי, ולהחליט מה נחוץ על ידי חישוב מתאים)

שאלה לדיון :

מה המשותף לשתי ההתנסויות?

(תשובה: בשתי ההתנסויות היה נתון מצב רצוי, והיינו צריכים למצוא מה לעשות כדי לקבל את המצב הרצוי, בהתחשב בתנאים בכל רגע).

בקרה במערכות ביולוגיות [20 דקות]



תהליך בקרה 3 - בקרת הטמפרטורה בגוף האדם

תהליכי בקרה מתרחשים כל הזמן בעולם הטבע בכלל ובגוף האדם בפרט. כמו מערכות רבות אחרות, גם גוף האדם נדרש לשמור על סביבה פנימית קבועה. כשאנחנו אומרים קבועה אנחנו מתכוונים לכך שתכונות שונות של מערכות הגוף צריכות להישמר בטווח קבוע ומצומצם. טמפרטורת הגוף היא דוגמה אחת לתכונה כזו וכך גם פרמטרים שונים שקשורים למערכת ההובלה שלנו: לחץ הדם, תכונות כימיות שונות של הדם ועוד. אם נבחן זאת נגלה שגם בכל מערכות הגוף האחרות נשמרת סביבה פנימית קבועה.

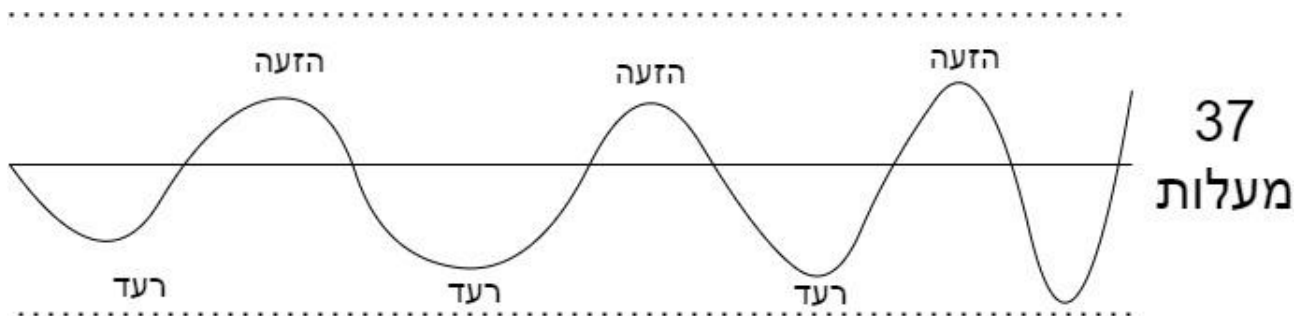
בגוף קיימים מנגנונים שתפקידם לשמור על הסביבה הקבועה ולבצע תיקונים כשנוצרת סטייה. את המדידות מבצע הגוף בעזרת מגוון של חיישנים (איברי חישה) ואת התיקונים, אם נדרשים, מבצע הגוף על ידי הפעלת מנגנוני הפעלה מגוונים שנשלטים על ידי שרירים מגוונים ובלוטות שונות.

כאשר התכונות הללו סטות בצורה משמעותית מהטווח התקין אנחנו יכולים להסיק ששיווי המשקל הפנימי ("ה"הומאוסטזיס") הופר ושכן האדם חולה.

בואו נבחן את מנגנון השמירה על טמפרטורת הגוף כדוגמה למערכת בקרה:

הטמפרטורה התקינה של הגוף יכולה לנוע בטווח מקסימלי של כמעלה אחת סביב נקודה אישית קבועה (בסביבות 37 מעלות).

חיישנים הנמצאים בסביבת המוח, בהיפותלמוס, עוקבים באופן רציף אחרי טמפרטורת הגוף ומעבירים את הנתונים לחלק אחר במוח. כאשר טמפרטורת הגוף עולה מעבר לטווח התקין, המוח מקבל החלטה להפעיל מנגנון קירור של הגוף (למשל- הזעה) ומפעיל את המנגנון המתאים (למשל הפרשת זיעה מבלוטות הזיעה). כאשר טמפרטורת הגוף יורדת מתחת לערך התקין, יגלו זאת אותם חיישנים אך הפעם יחליט המוח להפעיל מנגנון אחר, מנגנון הרעידה, שתפקידו לחמם את הגוף.



חשוב לציין כי זו הצגה פשטנית של תהליך השמירה על הטמפרטורה בגוף, שכן קיימים בגופנו מנגנונים נוספים שמופעלים בתהליך (למשל: הרחבה וכיווץ של כלי דם) אך אנו לא נדון בהם כאן.



ניתוח תהליך בקרת הטמפרטורה - עבודה בזוגות

רשמו את כל הפעולות שעל הגוף לבצע בתהליך השמירה על טמפרטורת הגוף (לפחות 4 פעולות). לכל פעולה רישמו איזה חלק בגוף אחראי לביצוע הפעולה. מלאו את הטבלה בנספח א'.

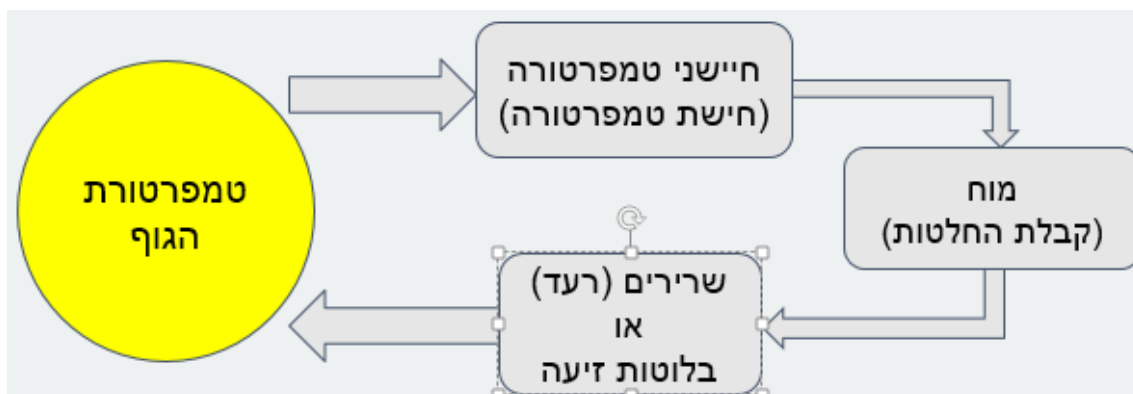
תשובה:

שלב מספר	הפעולה המבוצעת	איזה איברים מבצעים את הפעולה?	הערות
1	חישת טמפרטורה	מוח (היפותלמוס), עור, חוט שידרה	ההיפותלמוס משמש כתרמוסטט - חיישן ומשווה לטמפרטורה הרצויה
2	קבלת החלטות	מוח	
3	הזעה	בלוטות זיעה על גבי העור	
או 3	רעד	שרירים	

משימה למתקדמים - תרשים המערכת

נסו לשרטט תרשים המתאר את כל הפעולות שרשמתם בטבלה, כך שהפעולות מחוברות עם חיצים המתארים את הקשר ביניהן.

תשובה לדוגמה:

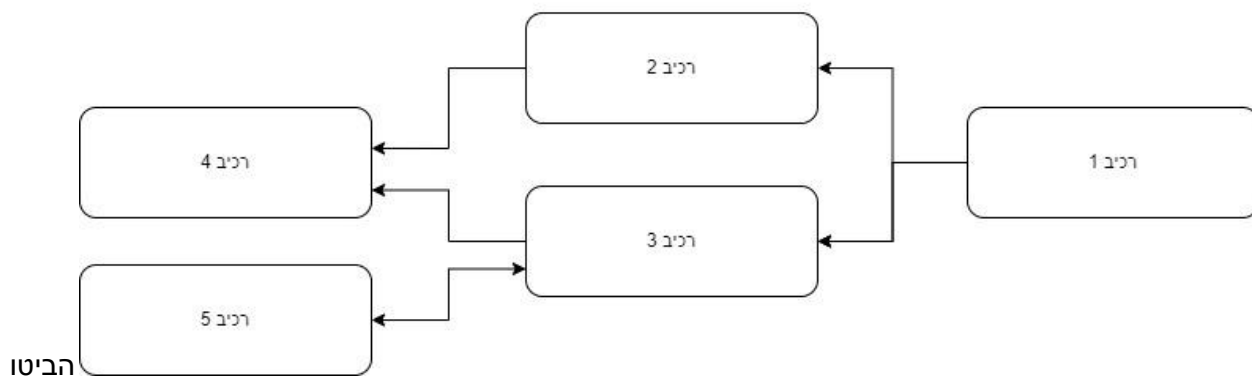


תרשים מלבנים של מערכת בקרה [10 דקות]

איך מתארים מערכות?

הדרך המקובלת בעולם ההנדסה לתאר מערכות היא על ידי תיאור המרכיבים כמלבנים ותיאור הקשר בין המרכיבים כחיצים. החיצים יכולים לייצג מידע, חומר או אנרגיה שעוברים בין המרכיבים השונים. כיוון החץ מייצג את כיוון ההעברה. כל רכיב (מלבן) יכול לקבל ולהעביר מספר משתנה (ובלתי מוגבל) של חיצים לרכיבים שונים.

הצגת מבנה מערכת בעזרת תרשים מלבנים



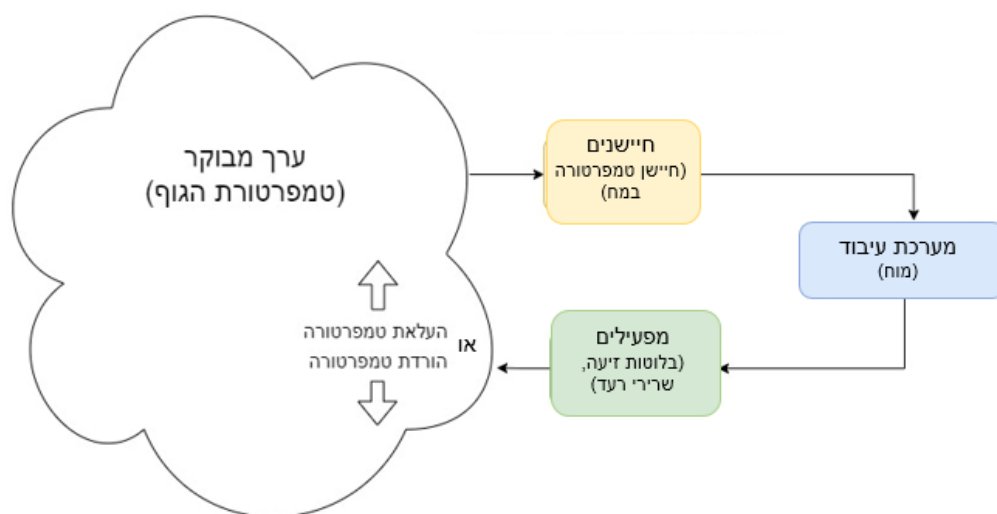
בתרשים שבאיור למעלה וענו על השאלות הבאות:

1. כמה יציאות יש לרכיב 1? כמה כניסות? (תשובה: יציאה אחת, אין כניסות)
2. מאילו רכיבים מקבל רכיב 4 מידע/חומר/אנרגיה? (תשובה: מרכיבים 2 ו-3)
3. לגבי רכיב 5 - מאיזה רכיב הוא מקבל מידע/חומר/אנרגיה ולמי הוא מעביר? (תשובה: מקבל וגם מעביר לרכיב 3)

במערכת בקרה יהיו בדרך כלל 3 סוגי מרכיבים:

- **חיישנים** - חשים ומודדים את הגודל המבוקר (למשל: טמפרטורת הגוף)
- **מערכת עיבוד** - עוקבת אחרי הערך של הגורם הנמדד ומקבלת החלטות (למשל: מוח)
- **מפעילים** - יוצרים שינוי בסביבה כדי לשנות את הגודל הנמדד (למשל: בלוטות זיעה)

צורת החיבור של הרכיבים (בעזרת התרשים שהכרנו):



שאלות לדיון:

- למה כיוון החיצים בתרשים הוא כפי שמתואר?
(תשובה: המידע במערכת הזו זורם מהחיישנים אל המעבד ומהמעבד אל המפעילים)

מערכת בקרה שבה החיצים מחוברים כך נקראת "מערכת משוב".

- מהי הסיבה, לדעתכם, שמערכת כזו נקראת "מערכת משוב"?
(תשובה: ניתן לראות בתרשים המלבנים של המערכת, שהיא פועלת את פעולתה על אותו גורם אשר גרם להפעלתה (טמפרטורת הגוף למשל), כלומר פעולתה חוזרת (שבה) אל המרכיב שגרם להפעלתה.)

מערכת משוב שלילי [15 דקות]

"משוב שלילי" הוא משוב שפעולתו הפוכה לשינוי שהפעיל אותו. במערכת הבקרה על טמפרטורת הגוף, מאחר שההשפעה על הטמפרטורה היא בכיוון הפוך לשינוי המקורי שלה, זהו משוב שלילי.

נדגים זאת על ידי מהלך האירועים הבא, שבו המשוב השלילי פועל במערכת הבקרה על טמפרטורת הגוף:

1. טמפרטורת הגוף **עולה** ל 38 מעלות
2. חיישן הטמפרטורה בהיפותלמוס (מוח) **מזהה** את השינוי
3. המוח מפעיל את מנגנון **ההזעה**
4. מנגנון זה גורם לטמפרטורה **לרדת** שוב לכיוון 37 מעלות

או הדוגמה ההפוכה:

1. טמפרטורת הגוף **יורדת** ל 36 מעלות
2. חיישן הטמפרטורה בהיפותלמוס (מוח) **מזהה** את השינוי
3. המוח מפעיל את מנגנון **הרעידה**
4. מנגנון זה גורם לטמפרטורה **לעלות** שוב לכיוון 37 מעלות



קיימת גרסה מתוקשבת של דוגמאות אלו כפעילות גרירת מילים להשלמת המשפטים.

<https://campus.ort.org.il/mod/hvp/view.php?id=125332>

מה ראינו?

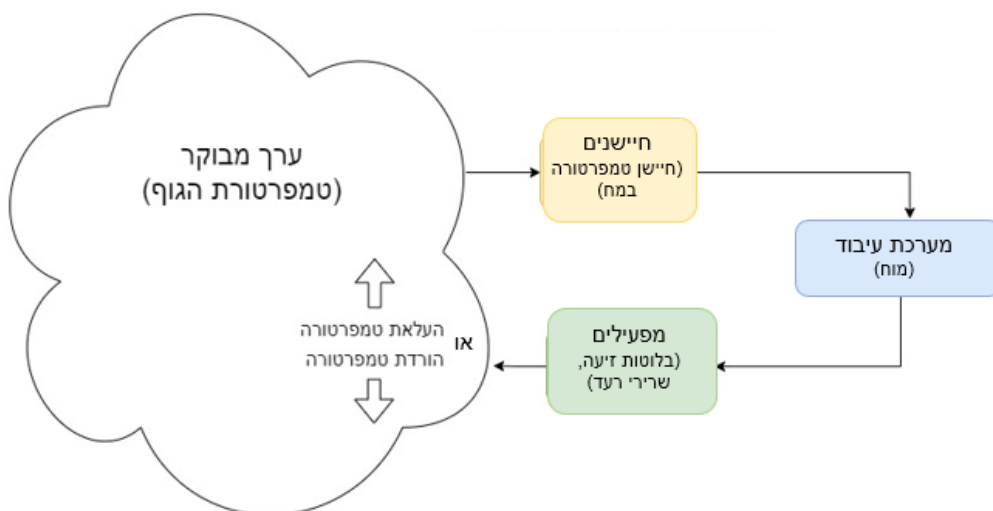
עליית הטמפרטורה גרמה למערכת המשוב להוריד אותה חזרה, וירידת הטמפרטורה גרמה למערכת המשוב להעלות אותה בחזרה.

בשני המקרים ניתן לראות שמנגנון המשוב גרם לשינוי בכיוון הפוך מהשינוי שגרם להפעלת המערכת, ועל כן המשוב הזה הוא שלילי.

לסיכום - מדברים בשפה טכנולוגית [10 דקות]

נסכם את תהליך הבקרה שהכרנו, תוך שימוש בשפה טכנולוגית.

נשתמש בכל המושגים הבאים כדי לתאר מה רואים בתרשים: תרשים מלבנים, מערכת בקרה, משוב שלילי, סביבה מבוקרת, חיישנים, ערך מבוקר, מערכת עיבוד, מפעילים.



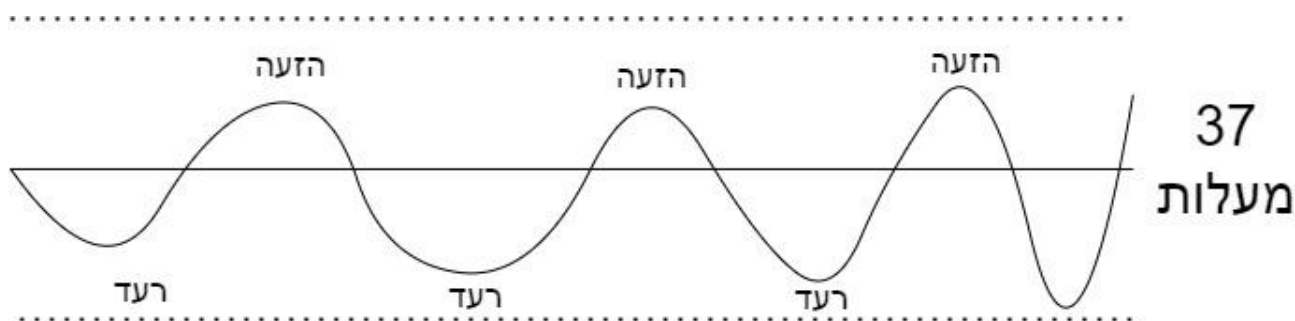
תשובה אפשרית:

לפנינו **תרשים מלבנים של מערכת בקרה מסוג משוב שלילי**, ליצירת **סביבה מבוקרת** בגופנו. המערכת כוללת אותות הזורמים באופן מעגלי חד-כיווני: **מחיישנים** הדוגמים את **הערך המבוקר**, **למערכת עיבוד** המקבלת החלטות בהתאם לערך הנמדד ולערך הרצוי, ומשם **למפעילים** המשפיעים חזרה על הערך המבוקר.

נספח 1

ניתוח תהליך בקרת הטמפרטורה בגוף האדם - פעילות בזוגות

נתחו את המרכיבים ואת הפעולות המשתתפים בתהליך הבקרה על טמפרטורת גוף האדם:



- רשמו את כל הפעולות שעל הגוף לבצע בתהליך השמירה על טמפרטורת הגוף (לפחות 4 פעולות)
- לכל פעולה רישמו איזה חלק בגוף אחראי לביצוע הפעולה.
- מלאו בהתאם את הטבלה שבהמשך

שלב מספר	הפעולה המבוצעת	איזה איברים מבצעים את הפעולה?	הערות

משימה למתקדמים - תרשים המערכת

- נסו לשרטט תרשים המתאר את כל הפעולות שרשמתם בטבלה, כך שהפעולות מחוברות עם חיצים המתארים את הקשר ביניהן.