

## 03 מערך שלישי: הכרות עם המערכת HomeBioGas

**נושא השיעור:** הכרת מערכת HomeBioGas: מבנה, תפעול והבנת עקרון הפעולה

**הפעילות מתאימה לכיתות: ג'-ו'**

**משך הפעילות: 45-90 דקות**

### מטרות השיעור:

- התלמידים יכירו את המערכת (מבנה בסיסי, תפעול, תוצרים ועקרונות הפעולה)
- התלמידים יכירו את ארבעת שלבי המערכת (הכנסת פסולת אורגנית, פירוק ע"י חיידקים, הצטברות גז מתאן בשק הגז, קבלת תוצרים: מצד אחד זרימת גז מתאן לכירה, ומצד שני הצטברות דשן נוזלי למיכל האיסוף)
- התלמידים יערכו ניסוי המדמה וממחיש את תהליך ייצור הביוגז, במערכת שקופה וויזואלית

### יעדים:

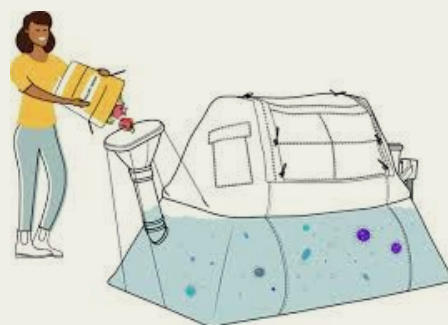
- התלמידים יכירו את הוראות הבטיחות בקרבת המערכת
- התלמידים ידעו לזהות את רכיבי המערכת השונים
- התלמידים יכירו את סוגי הפסולת האורגנית שניתן להכניס למערכת
- התלמידים ידעו מהם התוצרים המתקבלים, והיכן הם נמצאים בסיום התהליך
- התלמידים יבינו את עקרון הפעולה של המערכת
- התלמידים יעריכו את היתרונות הסביבתיים של המערכת (ממטרד למשאב)

### מושגים מרכזיים:

פסולת אורגנית, פירוק, חיידקים, גזים, מתאן, חומר דליק, דשן

### רקע לימודי עבור המורה:

בשיעור זה נכיר לתלמידים את מערכת HomeBioGas. להלן הסבר מפורט עבור המורה אודות המערכת:



HomeBiogas היא מערכת ביתית אשר ממחזרת פסולת אורגנית (פסולת מטבח) או זבל בעלי חיים, ומפיקה מהם בתהליך טבעי ביוגו לצריכה הביתית. הגז (מתאן) יכול לשמש לבישול, חימום או לתאורה. המערכת מספקת כמויות אנרגיה המאפשרת בישול על גז למשך 2-3 שעות מידי יום. במקביל לגז, המערכת מפיקה גם דשן נוזלי, אורגני, לדישון צמחים. הום ביוגו היא קלה ופשוטה לתפעול, קלה להתקנה ועומדת בתקני בטיחות מחמירים.

## יתרונות מערכת HomeBioGas:

1. מקור עצמאי לאנרגיה נקייה
  2. שיפור תנובת הגינה – הדשן הנוזלי המופק הינו תוצר איכותי ביותר המכיל מיקרואלמנטים חשובים לשיפור צמחי הגינה.
  3. בריאות – המערכת הינה אטומה, ונטולת ריחות.
  4. שיפור איכות הסביבה – מפחיתה שימוש בדלקים מזהמים, מונעת פליטות גזי חממה, מפחיתה שינוע פסולת וזיהום מי תהום.
  5. בטיחות – המערכת עומדת בתקני בטיחות מחמירים.
- המתקן מסוגל לקלוט כ- 6 ליטר פסולת אורגנית או כ- 15 ליטר פרש בע"ח ביום. מדי יום מתקבלים כ-2 ליטר דשן אורגני נוזלי, וכ-2 שעות בעירת ביוגו בלחץ של 13 מיליבאר. התוצר הינו ביוגו הכולל 65% CH<sub>4</sub> ו-35% CO<sub>2</sub>. גודל מיכל גז: 500 ליטר. גודל מתקן: 130 גובה / 180 עומק / רוחב 100 ס"מ.

לקריאה נוספת: <https://www.homebiogas.com>

## מבנה המערכת

להלן חלקי המערכת (ראה תרשים בהמשך):

1. "כיוור" שלתוכה מוכנסת פסולת אורגנית
2. שק עיכול (נמצא בתחתית המערכת ומכיל מים)
3. שק אגירת הגז
4. מיכל לאגירת הדשן
5. צינור הגז והכירה

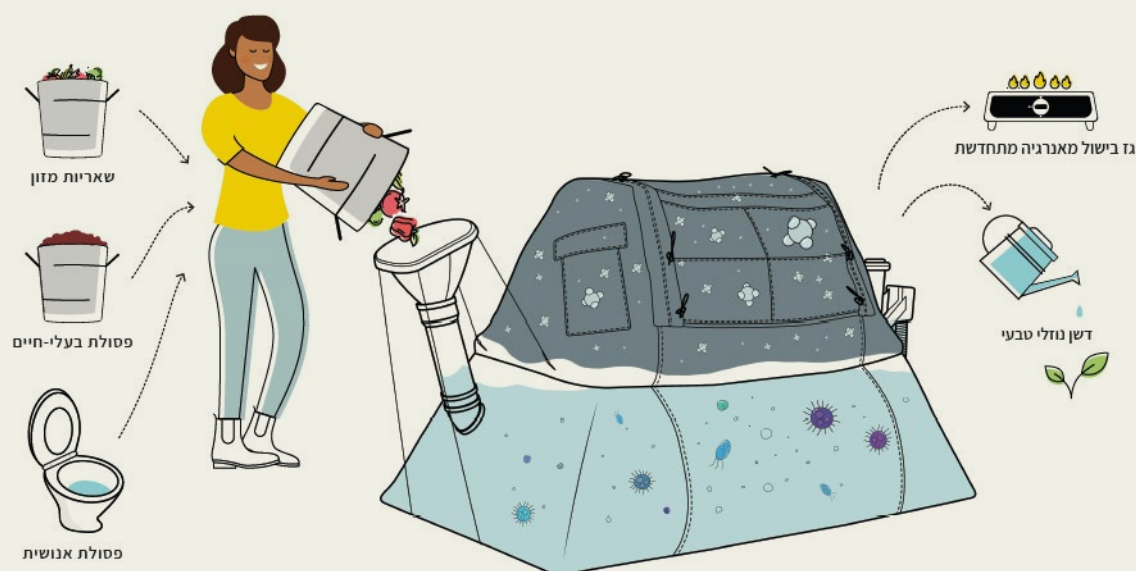
## תפעול המערכת:

**הערה:** כחלק מהתפעול הראשוני של המערכת מוכנס זבל פרוות, אשר מכילים מיקרואורגניזמים מתאימים להתנעת התהליך.

1. הזנת המערכת בפסולת אורגנית באמצעות "הכיוור" והדוחסן:  
מותר להכניס: פסולת מטבח כגון שאריות ירקות, פירות, לחם, מוצרי חלב, בשר וכן זבל בע"ח.  
נמנע מלהכניס: דשא והדרים.  
ניתן להכניס עד 6 ליטר פסולת ביום, השווה ל 2-3 ק"ג פסולת.  
לאחר הזנת המערכת בפסולת, נוצר בתהליך טבעי, ללא צורך בהתערבות, גז מתאן (גז בישול).  
הגז מוזרם לכירה באמצעות צינור גז.
2. בישול על הכירה – המערכת מספקת כמויות אנרגיה המאפשרת בישול על גז למשך כשעתיים מידי יום. ניתן לבשל על הכירה בהתאם להוראות הבטיחות.
3. שימוש בדשן – את הדשן נערבב עם מים ביחס של 1:3 לפני השימוש בגינה (עבור עצים לא חייב לדלל).

## הסבר - מה קורה במערכת:

שאריות הפסולת שהכנסנו מגיעים לשק העיכול, הנמצא בתחתית ומכיל מים, ושם עוברות פירוק אנאירובי ע"י חיידקים ומיקרואורגניזמים נוספים. בתהליך משתחרר גז מתאן שנאגר בשק העליון. שק הגז מחובר לצינור המוביל לכירה. תוצר נוסף של התהליך הוא דשן אורגני, שנאגר במיכל מאחור. הדשן נועד להעשרת הקרקע לגידול צמחים. **ראה תרשים:**



## נספח - פירוק אנאירובי



פירוק אנאירובי הוא רצף של תהליכים שבאמצעותם מיקרואורגניזמים מפרקים חומר מתכלה בהיעדר חמצן, וממירים אותו לביוגז (מתאן, פחמן דו חמצני ועקבות של מימן גופרתי). הוא מתרחש באופן טבעי בסביבות חסרות אוויר כמו במשקעים בקרקעית אגמים ואוקיינוסים, בביצות ובתהליכי העיכול בתוך בעלי חיים. מאז זיהוי התהליך בסוף המאה ה-18 נעשה בו שימוש למטרות תעשייתיות וביתיות כגון, ניהול פסולת וייצור דלק ודשנים (תוצר לוואי של התהליך).

### ארבעת השלבים של פירוק אנאירובי:

#### 1. הידרוליזה

כאשר חמצן גזי (באוויר) אינו זמין, חיידקים אנאירוביים מעכלים את חומר הקלט כדי לפרק אותו. בשלב הראשון (הידרוליזה) החומר מתפרק רק חלקית מבחינה ביוכימית ומביא לייצור סוכרים, חומצות אמינו וחומצות שומן. אצטט ומימן המיוצרים בשלב ראשון זה, יכולים לשמש ישירות מתנוגנים, אך החומרים האחרים צריכים פירוק נוסף.

#### 2. אצידוגנזה

בשלב השני החומר שנותר מהשלב הראשון מתפרק על ידי חיידקים אצידוגניים. תהליך זה דומה לתהליך הגורם להחמצת החלב. התוצרים הסופיים של שלב זה כוללים חומצות שומן נדיפות (VFAs, אמוניה, פחמן דו חמצני ומימן גופרתי).

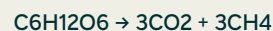
#### 3. אצטוגנזה

בשלב שלישי המולקולות הפשוטות שנוצרו בשלב הקודם, מתפרקות על ידי אצטוגנים והתוצרים העיקריים של תהליך ביוכימי זה הם חומצה אצטית, פחמן דו חמצני ומימן.

#### 4. מתנוגגה

בשלב הרביעי והאחרון, מתנוגגים משתמשים בתוצרים של השלבים הקודמים וממירים אותם למתאן, פחמן דו חמצני ומים.

ניתן לתאר את התהליך הכולל, שבו חומר אורגני כמו גלוקוז, מתעכל ביוכימית על ידי מיקרואורגניזמים אנאירוביים, לקבלת פחמן דו חמצני (CO<sub>2</sub>) ומתאן (CH<sub>4</sub>):



## מהלך השיעור:

### הכנות וציוד נלווה לשיעור:

- בקבוקי פלסטיק ממתקן המחזור
- קנקן עם מים
- משפך
- 2 בלונים
- פסולת מטבח עבור הדגמת המערכת וכן עבור הניסוי(לצורך ביצוע הניסוי נעדיף בננה שלמה ועגבנייה)
- קרשי חיתוך
- סכינים לחיתוך
- דבק נייר (מסקינטפ) או גומיות
- מדבקות לסימון הבקבוקים
- כרטיסיות משחק

## מבנה השיעור:

### פתיחה: 10 דקות

בפתיחת השיעור נזכיר לתלמידים בקצרה את מה שלמדנו בשיעורים הקודמים:

בשיעורים הקודמים למדנו על אופן פעולת מכונות המצאת האדם (קלט – תהליך – פלט) ועל מערכות ייצור של הטבע (מערכת מעגלית). כמו כן, הבנו שכדי למצוא פתרונות לבעיות סביבתיות עלינו לשמור על "ראש פתוח" ולראות בבעיה שנראית מטרד, אתגר שניתן להפוך למשאב.

היום נכיר את מערכת HomeBioGas כדוגמא למכונה המצאת האדם, שלוקחת מטרד – פסולת, והופכת אותו למשאב. פסולת היא אחת הבעיות החמורות לסיבה. מלבד המפגע הנופי שהיא מייצרת, היא מהווה סכנה לבריאות הציבור. פסולת שנשרפת או מוטמנת במזבלות מייצרת זיהום אוויר, מזהמת מקורות מים וקרקע ומהווה סכנה למערכות האקולוגיות שסביבנו. מדובר אם כך בבעיה סביבתית חמורה.

### גוף הפעילות:

### הכרות עם המערכת: 20–35 דקות (חלק זה של השיעור יתבצע בסמוך למתקן)

לפני הכניסה לכיפה הגאודזית שבה נמצא המתקן בבית הספר, נפרט את הוראות הבטיחות לתלמידים:

#### הוראות הבטיחות בסמוך למתקן:

1. על התלמידים לעמוד בסמוך למתקן במרחק בטיחות.
2. מצד התלמידים נדרשת התבוננות והקשבה בלבד, אין לגעת בדבר.
3. ההדגמה ובישול על הכירה תתבצע ע"י המורה בלבד.

4. אין להדליק אש ברדיוס של 5 מטר מהמתקן.
5. אין לשאוף גז שנפלט מהמתקן.
6. אין להשתמש במכשיר חד, אשר עלול לפגוע במתקן.
7. הדשן הינו חומר כימי חזק, המיועד להעשרת הקרקע בלבד.

## מבנה המערכת:

### נציג לתלמידים את חלקי המערכת:

1. "כיוור" שלתוכה מוכנסת פסולת אורגנית באמצעות הדוסחן (מומלץ לבצע הדגמה של הכנסת הפסולת לפיה).  
**מה מותר להכניס:** פסולת מטבח כגון שאריות ירקות, פירות, לחם, מוצרי חלב, בשר וכן זבל בע"ח.  
**נמנע מלהכניס:** דשא והדרים.  
ניתן להכניס עד 2-3 ק"ג פסולת ביום.
2. שק עיכול (נמצא בתחתית המערכת ומכיל מים)
3. שק אגירת הגז
4. מיכל לאגירת הדשן מאחור
5. צינור הגז והכירה

אחרי שהכרנו את מבנה המערכת, נשאל את התלמידים: מה לדעתם קורה בתוך המערכת? מה קורה לפסולת שהכנסנו? למה משמש הגז שנאגר? למה משמש הדשן?

- נסביר:** שאריות הפסולת שהכנסנו מגיעים לשק העיכול ושם עוברים פירוק ע"י חיידקים ומיקרואורגניזמים נוספים. כתוצאה מכך משתחרר גז שנאגר בשק מיוחד.  
שק הגז מחובר לצינור המוביל לכירה. על הכירה נוכל לבשל, ממש כמו הכירה שנמצאת במטבח בבית שלכם.  
תוצר נוסף של התהליך הוא דשן אורגני, שנאגר במיכל מאחור. הדשן נועד להעשרת הקרקע לגידול צמחים.  
בסיום חלק זה מומלץ להכין על הכיריים משהו סמלי עם התלמידים (תה צמחים, פופקורן...)  
נזמין את הילדים "לכבד" בשאריות האוכל שלהם את המתקן.

## העמדת ניסוי: 20 דקות

בחלק זה של השיעור יתנסו התלמידים בייצור ביוגז במערכת מוקטנת המדמה ומדגימה את התהליך.  
מהלך הניסוי:

### המורה תדגים את הניסוי לכל הכיתה:

**הערה:** לשיקול המורה ניתן לחלק את התלמידים לקבוצות קטנות, כך שכל קבוצת תלמידים תעמיד ניסוי משלה.

1. נחתוך את הבננה על קליפתה והעגבנייה לחתיכות קטנות.
2. נכניס את חתיכות הפסולת לאחד הבקבוקים.
3. נמלא את הבקבוק במים. על המים לכסות את חתיכות הפסולת ואת מרבית הבקבוק אך לא להגיע ממש עד השפה.
4. על פיית הבקבוק נלביש את הבלון ונחזק את החיבור באמצעות דבק נייר (מסקינטפ) או גומייה.
5. נדביק מדבקה עם התאריך, השעה, שם הכיתה ותכולת הבקבוק.
6. הבקבוק השני ישמש אותנו כביקורת: נמלא את הבקבוק במים בלבד, נלביש על הפיה את הבלון. על דופן הבקבוק נדביק מדבקה עם התאריך, השעה, שם הכיתה ותכולת הבקבוק (מים).
7. מומלץ להציב את הבקבוקים באזור חמים ונעים למשך 12 שעות לפחות.

בהתאם לגיל התלמידים שאלו את התלמידים אלו שינויים הם מצפים לראות ולמה.

## מעקב אחרי התוצאות:

ניתן לעקוב אחר מהלך הניסוי בעזרת הטבלה המצורפת:

מיום בלבד בקבוק 2	מיום + חתיכות פסולת בקבוק 1	אחרי 5 שעות
		צבע המזון / הנוזל
		קיומן של בועות בנוזל
		מצב הבלון
		אחר:

מיום בלבד בקבוק 2	מיום + חתיכות פסולת בקבוק 1	אחרי 24 שעות
		צבע המזון / הנוזל
		קיומן של בועות בנוזל
		מצב הבלון
		אחר:

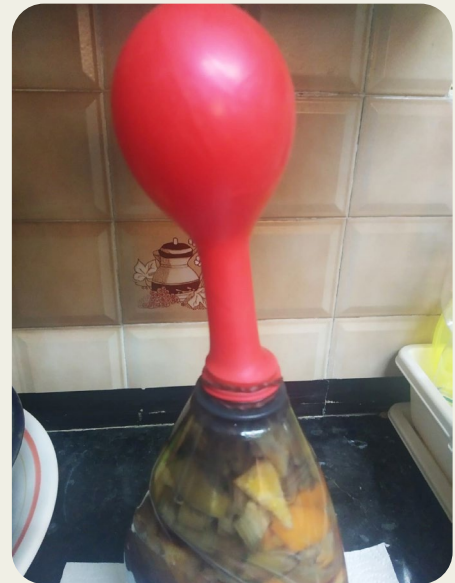
מומלץ לבקש מהתלמידים לצייר את תוצאות הניסוי לצד הטבלה.

## הסבר התוצאות:

לאחר כ-12 שעות עד מספר ימים (תלוי בטמפרטורה החיצונית), הבקבוק עם שאריות הפסולת יתמלא בגז. הבלון המחובר לבקבוק המים (ללא שאריות הפסולת) יישאר ללא שינוי. הגז המצוי בבלון הוא תערובת של פחמן דו חמצני ומתאן, הנוצרים בתהליך פירוק אנארובי (ללא חמצן). הפירוק נעשה ע"י חיידקים ומיקרואורגניזמים אחרים. לפעמים ישתחררו גם גזים נוספים כגון גופרית וחנקן, בעלי ריח אופייני. גז המתאן הוא דליק, ומשתמשים בו בכירת הבישול שלנו. בנוסף הוא יכול לשמש גם כמקור לאנרגיה לחשמל, וחימום מים.

## הסבר לילדים:

החומר שניפח את הבלון מורכב מגז שאנו פולטים בתהליך הנשימה (פחמן דו חמצני) וגז שנקרא מתאן. המתאן הוא גז דליק, כלומר אפשר להבעיר באמצעותו אש, ואנו משתמשים בו לבישול בכיריים במטבח. ניתן לחמם באמצעותו גם מים למקלחת או את הבית בימי החורף הקרים.



### להלן אפשרויות נוספות להרחבת הניסוי עבור תלמידי הכיתות הבוגרות:

1. השוואה בין סוגי מזון שונים והשפעתם על קצב מילוי הבלון
2. השפעת הטמפרטורה על קצב מילוי הבלון
3. צבעו של הבקבוק – והשפעתו על קצב מילוי הבלון

## סיכום השיעור: 10 דקות

נחזור בקצרה על סדר פעולות המערכת – הכנסת מזון, פירוק ע"י חיידקים, כתוצאה מכך משתחרר גז מתאן, ונקבל את התוצרים: מצד אחד זרימת גז מתאן לכירה, ומצד שני הצטברות דשן נוזלי למיכל האיסוף. הכרנו את מערכת HomeBioGas שלוקחת מטרד (פסולת), והופכת אותו למשאב (גז לכירה ודשן לגינה). ניתן זמן לשאלות ולסבב תחושות בעקבות השיעור. נזמין את הילדים להמשיך "ולכבד" בשאריות האוכל שלהם את המתקן. נודה לכולם על שיתוף הפעולה.

### לבחירת המורה: משחק מסכם – סדר פעולות 15 דקות

נשחק משחק קלפים שבו הילדים צריכים לסדר את ארבעת השלבים אותם למדנו בסדר הנכון.



## משחק קלפים – סדר הפעולות במערכת HomeBiogas:

המשחק המצורף מאפשר חזרה על אופן פעולת המערכת ועל המתרחש בשלבים השונים של ייצור ביוגז.

**אופן המשחק:** כל קבוצת ילדים מקבלת סידרה של 4 קלפים המתארים את פעולת המערכת. הקלפים הם דו צדדיים. בצד אחד מופיעים השלבים השונים בייצור ביוגז, ובצד השני, מופיעה תמונה של המערכת. בחלקו הראשון של המשחק על הילדים לסדר את השלבים השונים המתרחשים בעת ייצור הביוגז/ פעולת המערכת. (בהנחיה ניתן להמליץ לילדים לסדר את הקלפים בדומה לאופן שבו ערכנו את הניסוי/הדגמה). לאחר שהתלמידים סידרו את ארבעת שלבי תהליך ייצור הביוגז, נמזין את התלמידים להפוך את הקלפים לצד השני. במידה והתלמידים סידרו נכון את השלבים, תופיע תמונה של המערכת בצד השני.

## נושאים מתוך המערך להעמקה והרחבה:

- זיהום אוויר** – לזיהום אוויר יש כל מיני צורות. אחד היתרונות הבולטים במערכת HomeBiogas, שהאיסוף של גז המתאן הוא מבוקר ומשמש לתועלת האדם. במטמנות נוצר בתהליך פירוק הפסולת, גז מתאן, שמשחרר באופן לא מבוקר לאטמוספירה, וכך נוצר זיהום אוויר והרעה בהתחממות הגלובלית.
- בעיית הפסולת בעולם** – יותר משליש מהאוכל בעולם נורק בשלבי הייצור השונים. כיצד מצב זה משפיע על האדם מבחינה חברתית, כלכלית וסביבתית?
- גזים** – בשיעור נחשפנו לגז חדש שטרם הכרנו, גז מתאן. איזה גזים נוספים אנחנו מכירים?
- דשן** – שימושים בדשן לשיפור מצב הקרקע וגידולים חקלאיים. ניתן לשלב ניסויים וחקר בגינת הירק עם תלמידי השכבות הבוגרות.
- פירוק אנאירובי** – הרחבה לגיל הבוגר.