

תרשים מלבנים



חלופה ראשונה : תכנון מערכת המבוססת על רפלקטורים וביצוע ניסויי ייתכנות.
חלופה שניה : שנוי המערכת לרפלקטור פרבולי ובצוע ניסויים שהוכיחו שהשיטה הזו יותר יעילה.
אב טיפוס סופי : מערכת הניסוי הסופית שעליה צוות הפרויקט ביצע ניסויים ובדק האם המערכת עומדת במטרות שהוגדרו.

שלבי ביצוע הפרויקט

שלב א'- בחירת נושא

בשלב החיפוש אחר רעיון יצרו התלמידים קשר עם החממה האקולוגית בעין שמר- חממה זו מקושרת עם בתי הספר בסביבה ותלמידים מגיעים כדי לערוך ניסויים שונים. בחממה מבצעים מגוון של מחקרים וניסויים בתחומי החקלאות, איכות מים ואיכות הסביבה. אחד הניסויים עסק בנושא של טיהור מים המזוהמים בזיהום בקטריאלי באמצעות קרינת UV של השמש. החממה הקימה מפל מים מלאכותי בגובה של כעשרה מטרים, כאשר מי המפל היו חשופים במשך היום לקרינת השמש. המים נעו במעגל סגור- משאבה שאבה את המים שנפלו אל מיכל אגירה חזרה אל ראש המפל. במשך היום נלקחו דגימות ממי המפל כדי לבדוק את איכות המים. ניסוי זה לא הצליח.

צוות התלמידים אהב את הרעיון וראה בכך הזדמנות לפיתוח מערכת ייחודית שתוכל לשרת אוכלוסיות בעולם השלישי הסובלות ממצוקת קשה ושיש בה מאגרי מים רבים המזוהמים בזיהום בקטריאלי.

תיאור מצב קיים

מאגרי המים הראויים לשתיה על פני כדור הארץ מוגבלים ביותר. משבר המים חמור במיוחד במדינות העולם השלישי, בהן אין את המשאבים הנדרשים להשקיע בשיטות מתוחכמות ויקרות של טיהור מים. מקורות המים באזורים אלו מזוהמים בעיקר בזיהום בקטריאלי. צריכת מים מזוהמים מסוכנת ביותר ומובילה למחלות קשות ואף למוות.

בדיקת מוצרים דומים

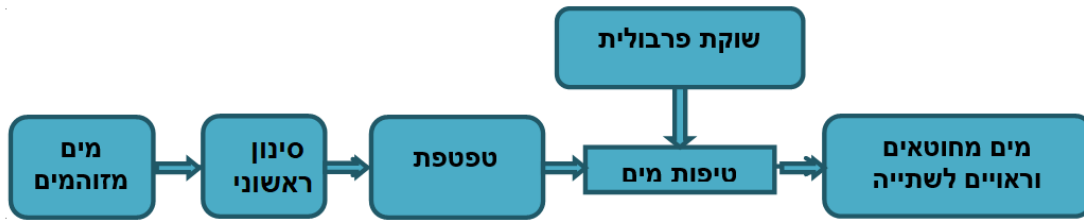
השיטה העיקרית הנהוגה כיום לחיטוי מים במדינות העולם השלישי שבהם קיימת קרינת שמש חזקה היא שיטת SODIS- solar water disinfection, בה חושפים בקבוק פלסטיק שקוף, המכיל 1.5 ליטר מים מזוהמים בזיהום בקטריאלי לשמש. קרינת ה-UV קוטלת את החיידקים ומחסאת את המים. החיסרון העיקרי של שיטה זו הוא משך הזמן הארוך הנדרש להגיע לחיטוי של ליטר וחצי מים- בין 6 שעות ליומיים.

תיאור הרעיון

פיתוח מערכת יעילה וזולה אשר תחטא מים מזוהמים (בזיהום בקטריאלי) באמצעות קרינת השמש (קרינת UV וקרינה אינפרא אדום) – זוהי אנרגיה "חינמית", זמינה, נגישה, ירוקה ויעילה, תוך כדי ניצול המבנה הייחודי של טיפת המים.

התלמידים הבינו שאין טעם ללכת בכיוון של טיהור כמויות גדולות של מים כפי שנוסה בחממה וניכשל והחליטו להתחיל בהיקף קטן: לנסות לטהר מים בשיטת הטפטוף.

המסקנה השנייה של התלמידים הייתה שצריך לנסות לרכז את קרינת השמש ישירות אל טיפות המים הנופלות ממערכת הטפטוף.



שלב ב': סקר ספרות ראשוני

היבט	שם הפרק	תקציר
חברתי	מחסור המים בעולם	כיום קיים מחסור מים קשה בעיקר במדינות העולם השלישי.
	שמירה על איכות המים	מאגרי מים רבים בעולם אינם ראויים לשימוש ושתיה. קיימים מספר מדדים בהם נעזרים כדי לקבוע את איכות המים.
מדעי	שיטות לטיהור מים	בשל חשיבות הבעיה והדחיפות במציאת פתרון, הומצאו ופותחו מספר שיטות לטיהור מים. רוב השיטות כרוכות בעלויות גבוהות ביותר השיטות הזולות לא יעילות מספיק.
	תכונות הטיפה	לטיפה תכונות פיסיקליות ייחודיות.
טכנולוגי	קרינת UV	קיימים 3 סוגים שונים של קרינת UV אשר מובדלים באורך הגל ובעוצמתם. לקרינה תכונות רבות המנוצלות בדרכים שונות.
	עדשות ורפלקטורים	ישנם 2 סוגי עדשות אשר מרכזות/מפזרות את קרני האור הפוגעות בהן (בהתאם לסוג העדשה). רפלקטורים הם אובייקטים אשר מחזירים אור ומרכזים אותו.
	חיישנים	ישנם רכיבים אשר ממירים ערכים פיזיקליים לערכים מדידים. לרוב למתח חשמלי.
	טפטפות	טפטפת היא רכיב המשחרר מים בצורת טיפות בגודל טיפה רצוי.
	שימוש בממשקי תכנות יישומים	ממשק תכנות יישומים (API) הוא כינוי מקובל לערכות של ספריות קוד, פקודות, פונקציות ופרוצדורות מוכנות אשר נועדו לאפשר שימוש נוח יותר עבור המתכנתים.
	שימוש ובנייה של פקדי ActiveX	פקדי ActiveX הם פקדים אשר ניתן לבנות ולתכנת בהתאם לצרכים. יוצרים איתם כלים שבהם ניתן לשלוט ובעזרתם לבנות ממשקים למטרות אחרות.
	בקר ארדואינו	מטרת הבקרים הם לקשר בין חיישנים אל המחשב והתוכנה. בקר ארדואינו מאפשר לקרוא אותות מחיישנים ולשלוט על רכיבי הספק
	מסדי נתונים	אמצעי המשמש לאחסון מסודר של נתונים במחשב, לשם איחזורם ועיבודם.

שלב ג': מחקר מדעי

מטבע הדברים, התלמידים התחילו את התהליך בחקר של שלושת הנושאים העיקריים עליהם מבוסס הפרויקט:

- א. קרינת UV
- ב. שיטות לריכוז הקרינה
- ג. תכונות טיפת המים

א. קרינת UV

קרינת UV בעלת אורך גל הקצר מ-280 ננומטר אינה חודרת אל כדור הארץ – היא מסוננת על ידי שכבת האוזון (O₃).

לפי מחקרים שנערכו בנושא נמצא כי 95% מקרינת UVA ו-5% מקרינת UVB חודרים דרך שכבת האוזון, ומגיעים לפני האדמה.

ניתן לחשב את שטף קרינת ה-UV המגיע אל פני האדמה:

$$\text{UVA: } 156 \cdot 0.95 = 148 \frac{W}{m^2}; \quad \text{UVB: } 43 \cdot 0.05 = 2.15 \frac{W}{m^2};$$

קרינת UVC מסוננת ואינה מגיעה אל פני כדור הארץ.

נהוג לומר ששטף הקרינה שחודר אל פני כדור הארץ הינו כמחצית לזה שמגיע אל האטמוספירה. בשנת 1976 פותח מודל אנליטי המאפשר לחשב את כמות הקרינה המגיעה אל פני כדור הארץ:

$$I_{\text{surface}} = I_{\text{Outside}} \cdot \left(0.271 + 0.7061 \cdot \left(a_0 + a_1 \cdot e^{\frac{-k}{\sin(\alpha)}} \right) \right);$$

כאשר α היא זווית הפגיעה של קרני השמש, I_{Outside} זהו שטף הקרינה מחוץ לאטמוספירה ואילו הפרמטרים האחרים נקבעים על פי הגובה של האזור ביחס לגובה הים:

מעל 5 ק"מ	עבור גובה H מתחת ל-5 ק"מ
$a_0 = 0.2538 - 0.0063 \cdot (6 - H)^2$	$a_0 = 0.4237 - 0.00821 \cdot (6 - H)^2$
$a_1 = 0.7678 + 0.001 \cdot (6.5 - H)^2$	$a_1 = 0.5055 + 0.00595 \cdot (6.5 - H)^2$

ב. שיטות לריכוז הקרינה

1. רפלקטורים - מרכזי קרינה



רפלקטור הוא רכיב אשר באמצעותו ניתן לרכז את קרני השמש ולרכז חום בעוצמה גבוהה מאוד. כל קרני האור המקבילות לציר הראשי אשר פוגעות בפרבולה עוברות דרך המוקד. לכן אם נסיט את קרני השמש אל הרפלקטור הפרבולי נקבל במוקד ריכוז גבוה של קרינת UV וטמפרטורה גבוהה מטמפרטורת הסביבה. לאורך כל הציר האופטי של הרפלקטור יש עוצמות שונות של טמפרטורה ועוצמת UV שונה ככל שמתרחקים מן המוקד אך השטח בו מתקבלות העוצמות גדול יותר זאת אומרת זמן חשיפת הטיפה לעוצמות אלו יותר גדול והשטח גדל ככל שמתרחקים מן המוקד.

ב.2 שוקת פרבולית

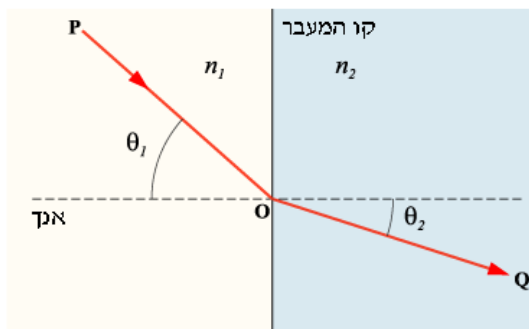


שוקת פרבולית היא חצי גליל הבנוי מחומר בעל תכונות אופטיות. פרבולה היא המקום הגיאומטרי של הנקודות אשר מרחקן מנקודת המוקד שווה. לפי חוקי האופטיקה-קרניים אשר מגיעות במקביל אל רפלקטור פרבולי נפגשות כולן בנקודת המוקד של הרפלקטור (ובה יש את עוצמת הקרינה המרבית). השוקת הפרבולית בנויה מאינסוף פרבולות, ולכל פרבולה יש מוקד משלה. מכיוון שכל הפרבולות באותו הגודל, נקודות המוקד של כולן נמצאת באותו מיקום. לכן, מתקבל בשוקת "קו רציף של מוקדים", בשוקת הפרבולית מקבלים ציר רציף של אינסוף נקודות מוקד ובציר הזה האנרגיה מרוכזת בעוצמות גבוהות ביותר.

ג. תכונות טיפת המים

שבירה והחזרה של אור בטיפה

החזרה של אור מתבצעת על פי הכלל שזווית הפגיעה של הקרן שווה לזווית החזרתה. כאשר קרן אור עוברת מסביבה לסביבה (חומר אחר), מהירות הגל משתנה. והקרן משנה את כיוונה. בנוסף, מגדירים גודל חדש ששמו מקדם השבירה של החומר המציין פי כמה גדולה על פי חוק סנל המתאר את המעבר של קרן מסביבה אחת לשנייה (מחומר אחד לשני):



$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

n_1, n_2 - מקדמי השבירה של החומרים.

θ_1 - זווית הפגיעה.

θ_2 - זווית השבירה.

מקדם השבירה של כל חומר תלוי באורך הגל של הקרינה שעליה מדובר. מים, על פי טבלאות נתונות קל להבחין שהשינוי אפסי. לכן נשתמש עבור המים ב: $n \cong 1.33$ ואילו באוויר: $n \cong 1$. ולכן ניתן להסיק מסקנת ביניים שבמקרה שלנו מתקיים:

$$\sin \theta_1 = 1.33 \cdot \sin \theta_2$$

תופעה חשובה המתרחשת בשבירת אור היא **החזרה גמורה**: משום ש: $\sin \theta_1 < 1$ אז נקבל:

$$\sin \theta_2 < \frac{1}{1.33} = 0.75 \quad \text{ולכן: } \theta_2 < 48.75^\circ \quad \text{כלומר, אם זווית הפגיעה תהיה גדולה מ- } 48.75^\circ$$

הקרן **לא** תצא מהטיפה, אלא היא תוחזר חזרה אל הטיפה לפי חוקי ההחזרה – עד לפגיעה הבאה.

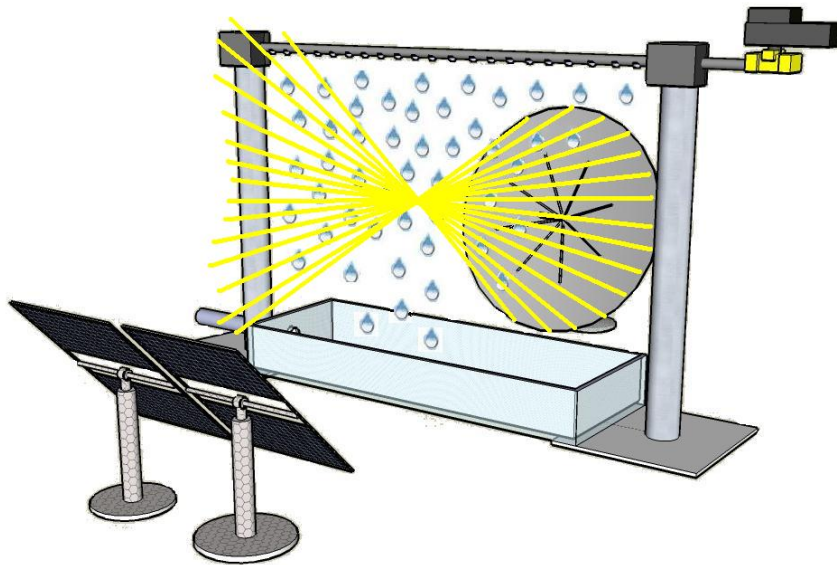
לעומת זאת, בל הקרינה אשר תגיע מהאוויר אל טיפת המים ב תישבר ותמשיך לנוע אל תוך הטיפה. מסקנה :

בכל רגע נתון כ- 46% מאנרגיית הקרינה אשר אליה חשופה הטיפה, תישאר לכודה בתוך הטיפה.

שלב ד' : כלי פיתוח

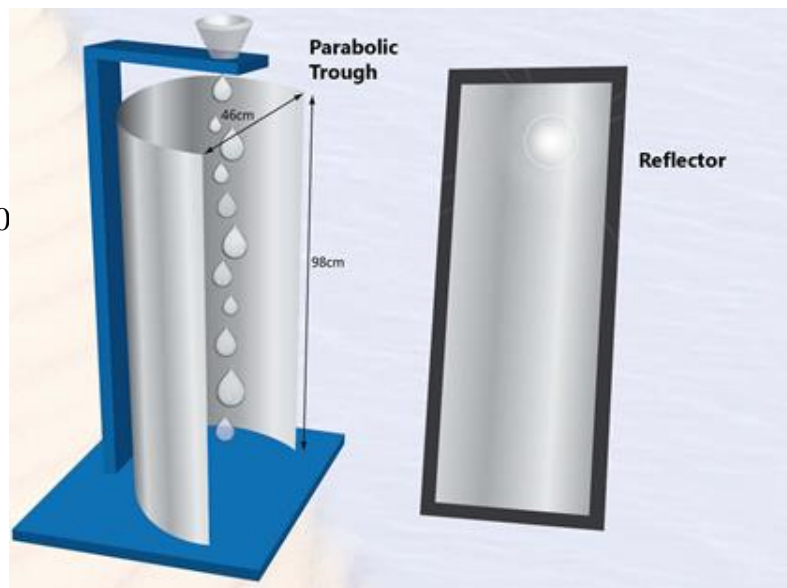
כלי פיתוח 1 :

תכנון מערכת הכוללת רפלקטורים



כלי פיתוח 2 :

תכנון מערכת הכוללת שוקת פרבולית



$$k = 0.249 + 0.0$$

כלי פיתוח 3 :

בקר ארדואינו

פיתוח מערכת בקרה ושליטה הכוללת :

1. ברז חשמלי השולט על מערכת הטפטוף ומתוזמן לפי טיימר. הברז מופעל עם תחילת הניסוי ומתנתק כאשר מסתיים זמן הניסוי.
2. חיישן למדידת קרינת UV של השמש בזמן הניסוי.
3. חיישן למדידת קרינת UV לאורך קו המוקד של השוקת הפרבולית.
4. חיישן טמפרטורה למדידת רמת הטמפ' המתפתחת לאורך קו המוקד של השוקת הפרבולית.

ניסויים

בוצעו מספר ניסויים מקדימים והתקבלה המסקנה הבאה :
ככל שממדי הטיפה יהיו קטנים יותר, כך קטילת המזהמים תתבצע באופן יעיל יותר בגלל עליה ביחס שבין שטח הפנים לנפח – ובכך נוצרת עליה בריכוז אנרגיית הקרינה הנמצאת בטיפה.

כלי פיתוח 1 : מערכת רפלקטורים

מטרת הניסוי : הוכחה סופית של יעילות המערכת- להשיג קטילת חיידקים מלאה בטפטוף המים המזוהמים דרך מערכת האב טיפוס.

חשיבות הניסוי לפרויקט : זהו השלב האחרון בהוכחת הפתרון המוצע בפרויקט. בניסוי הוזרמו מים מזוהמים בחיידקים דרך מערכת האב טיפוס והתקבלו מים מחוטאים הראויים לשתיה. השגת קטילה מלאה של החיידקים בהזרמת המערכת מוכיחה את המודל ועונה על המטרות.

מהלך הניסוי :

1. מיהול של חיידקי E. Coli בתמיסת סליין.
2. התלמידים זרעו 0.1 מ"ל מהתמיסה לצלחת פטרי וסימנו "1- לפני החשיפה".
3. המים המזוהמים בחיידקים טופטפו דרך מערכת האב טיפוס.
4. התלמידים זרעו 0.1 מ"ל מהתמיסה לצלחת פטרי וסימנו "2- לאחר סבב טפטוף אחד".
5. המים המטוהרים עברו דרך המערכת בשני סבבים נוספים.
6. התלמידים זרעו 0.1 מ"ל מהתמיסה לצלחת פטרי וסימנו "3- לאחר 3 סבבי טפטוף".
7. צלחות הפטרי הוכנסו לאינקובטור למשך יממה.
8. התלמידים ספרו את מושבות החיידקים בכל צלחת וערכו השוואה איכותית ביניהן.

תוצאות :

הניסוי נערך ב-27.1.11 בשעה 12:00, שיא החורף, השמים מעוננים ויש ערפל. רמת הקרינה נמוכה ביותר. הטמפרטורה בחוץ בשמש היא 18°C והטמפ' במסלול בו הטיפות מטפטפות (11 ס"מ מהרפלקטור) היא 60°C .

מס' מבחנה	1 – ללא חשיפה לשמש	2 – לאחר סבב טפטוף אחד	3 – לאחר 3 סבבי טפטוף
כמות חיידקים	~800	~130	0

מהלך הניסוי :

שלב 1 : הכנת מיהולים כמו בניסוי הקודם של תמיסת סליין עם חיידקי E.Coli. זריעת 0.1 מ"ל מהתמיסה על מצע גידול בצלחת פטרי והכנסה לאינקובטור למשך 24 שעות.

שלב 2 : טפטוף התמיסה במערכת. זריעת 0.1 מ"ל מהתמיסה (לאחר שעברה סבב ראשון של טפטוף במערכת) על מצע גידול בצלחת פטרי. הכנסה לאינקובטור למשך 24 שעות.

שלב 3 : טפטוף התמיסה במערכת פעם נוספת. זריעת 0.1 מ"ל מהתמיסה (לאחר שעברה 2 סבבי טפטוף במערכת) על מצע גידול בצלחת פטרי. הכנסה לאינקובטור למשך 24 שעות.

שלב 4 : אחר 24 שעות, ספירת כמויות החיידקים בכל צלחת והשוואה בין הצלחות השונות. רישום וניתוח התוצאות.

תוצאות : הניסוי נערך ב 25.5.11 בשעה 15:11-10:30 בצהריים. הטמפרטורה בצל הייתה 21 מעלות, הטמפרטורה בחוץ הייתה 28 מעלות. רמת קרינת ה-UV הייתה גבוהה. טמפרטורה בתוך השוקת הפרבולית 44 מעלות.

מיהול 1	כמות החיידקים לפני חשיפה	כמות החיידקים אחרי סבב 1	כמות החיידקים אחרי 2 סבבים	כמות החיידקים אחרי 3 סבבים
	לא ניתן לספור (בערך כ-3000)	~300	~30	~25

דיון ומסקנות : הניסוי מוכיח באופן מוחלט את היתכנות המערכת כפתרון לטיהור מים הנגועים בזיהום מיקרוביאלי. הניסוי נערך בתנאי מזג אוויר טובים ואכן ניתן לראות כי לאחר סבב אחד בלבד התבלו 90% קטילה. לאחר סבב שני סבבים התקבלו 99% קטילה ולאחר שלושה סבבים התוצאה הייתה 99.84% קטילה מכאן ניתן להסיק כי הגדלת השוקת הפרבולית (הארכת השוקת) וביצוע תהליך הקטילה בתנאי מזג אוויר כמו במדינות העולם השלישי באפריקה, ניתן יהיה לקבל תוצאות של יותר מ-99% קטילה לאחר סבב אחד.

שלב ה' : בניית הפרויקט

הצוות הזמין שוקת פרבולית מפח עם ציפוי מבריק המחזיר קרינה ברמה גבוהה מאוד בגובה של 1 מטר וקוטר של 0.5 מטר (נתונים שחושבו כדי לגבל קרינה מכסימלית וקטילת חיידקים מכסימלית).

בניסויים שבוצעו על המערכת השיגו התלמידים 99% קטילה בסבב אחד והגיעו לקצב הפקה של 12 ליטר מים בשעה.

כדי להתאים את המערכת למים הכוללים בוצה (מה שמאפיין בדרך כלל מקורות מים מזוהמים) הם הוסיפו אפשרות להתקנת סנן שמטרתו לסנן את הבוצה מהמים לפני תחילת התהליך. הסנן מורכב מסוגים שונים של חול וחצץ.

המערכת הסופית



המערכת ההנדסית

