

1.3. שותפים למחקר

¹הלל מלכה, ²יניב לבון, ³אלי כהן.

¹שה"מ משרד החקלאות, ²התאחדות מגדלי בקר, ³אילה מים ואקולוגיה.

שטח הפעולה של כל משתתף:

הלל מלכה, פרוטוקול מחקר, תכנון המערכת ביצוע המדידות בשטח.

יניב לבון, פרוטוקול מחקר, ביצוע המדידות בשטח, עיבוד נתונים וסטטיסטיקה;

אלי כהן, פרוטוקול מחקר תכנון והקמת המערכת.

דוא"ל חוקר ראשי: hilmal@shaham.moag.gov.il

1.4. תקציר

הטיפול בשפכי מכון החליבה וחצר המתנה ופתרון הקצה שלהם מהווה נטל כלכלי כבד על הרפת. שפכים אלו מכילים ריכוזי מזהמים גבוהים ולכן קשים לטיפול ונדרשות השקעות גדולות ועלויות גבוהות בתפעול לטפל בהם. שפיעת השפכים לחולבת ביממה היא בממוצע שנתי ובממוצע ארצי הוא 156 ליטר.

השוני בין הרפתות רב ומתבסס על הבדלים גדולים בין חורף לקיץ בגלל מי הצינון וכן על הבדלי אקלים קיצוניים בין חלקי המדינה. למרות ההשקעות הניכרות, עד כה לא נמצאה שיטת טיפול שתתן מענה חד משמעי לדרישות. מחקר זה יעשה שימוש במערכת ביולוגית טבעית של צמחי מים אשר תשתלב בנוף הרפת, עקרון הפעולה של השיטה מתבסס על תכונתם הייחודית של צמחי המים לקלוט חמצן באוויר ולהעביר אותו לשורשיהם. בסביבה רווית החמצן של השורשים מתפתחים מיקרואורגניזם שונים (כ – 10,000 מינים שונים, חיידקים, אנזימים ופטריות, הספציפיים לצמח ולסביבת הביוב שבה הוא גדל) בעלי יכולת פירוק וספיחה מדהימים של רעלים וגורמים פתוגניים. מטרת העבודה הייתה לבחון האם ה"מערכת הביולוגית הטבעית" (מב"ט) מצליחה לטפל בשפכי רפתות ולהגיע לתוצאות טובות. המערכת תוכננה ונבנתה כמערכת בת-קיימא ומשמשת בנוסף לתפקידה בטיפול בשפכי הרפת גם כריאה נופית ירוקה המשתלבת בתכנון הנופי המקומי. המערכת עובדת כבר מספר חודשים והתוצאות מראות שיפור רב בערכי השפכים. יחד עם זאת, אנו מזהים ששלב הסינון הראשוני הינו פחות טוב בגלל מעבר רב מידי של חומר אורגני היכול להוביל לסתימת המערכת. סיבה זו מובילה אותנו לרצות לבצע מחקר המשך בו נבחן שיטות נוספות לביצוע הסינון הראשוני ביעילות הפרדה טובה יותר של החומר המוצק.

1.5. מבוא ותיאור הבעיה

הטיפול בשפכי מכון החליבה וחצר המתנה ופתרון הקצה שלהם מהווה נטל כלכלי כבד על הרפת. שפכים אלו מכילים ריכוזי מזהמים גבוהים ולכן קשים לטיפול ונדרשות השקעות גדולות ועלויות גבוהות בתפעול לטפל בהם.

שפיעת השפכים לחולבת ביממה היא בממוצע שנתי ובממוצע ארצי הוא 156 ליטר. השוני בין הרפתות רב ומתבסס על הבדלים גדולים בין חורף לקיץ בגלל מי הצינון וכן על הבדלי אקלים קיצוניים בין חלקי המדינה.

ברפתות שונות הכמות נעה בין 40 ל-380 ליטר שפכים לחולבת ביממה. לדוגמא, רפת המונה כ-300 חולבות במרכז הארץ מייצרת בעונת הקיץ 50-60 מ"ק שפכים ביממה המתחלקים לשלוש חליבות ביום.

כאמור, שפכים אלה קשים לטיפול. ריכוז הצח"ב בשפכי מכון חליבה הוא כ-3,000 מג"ל, לעומת 250-300 מג"ל בשפכים ביתיים, כלומר: העומס האורגני בשפכים אלה גבוה פי 10 מהעומס האורגני בשפכים הביתיים – דבר המתבטא בעלות הטיפול במט"ש.

ואמנם, מושקעים אמצעים רבים למחקרים שנועדו לקדם את המטרה הזו. למרות ההשקעות הניכרות, עד כה לא נמצאה שיטת טיפול שתתן מענה חד משמעי לדרישות הבאות:

- מתקן טיפול כלכלי ופשוט להקמה, תפעול ותחזוקה.
- מתקן בר קיימא, כלומר מתקן עם בלאי סביר וואו שניתן לחדשו בקלות.
- שיטה ללא מפגעים סביבתיים וללא פסולת הדורשת פינוי לאתר מיוחד.
- שיטה ידידותית לרפתן שחייב לתפעל ולתחזק אותה (ללא מומחיות במכונות, כימיה, אלקטרוניקה ומחשוב).
- מתקן אוניברסאלי שאינו "קופסה שחורה" ושאינו תלוי בחברה מסחרית הנותנת שירותים טכניים או מוצרי תהליכים כימיים.

לנוכח רגולציה גוברת בתחום שפכי הרפתות, בארץ ובעולם, נעשים בשנים האחרונות מאמצים רבים לאיתור פתרון טכנו-כלכלי מתאים. בין הטכנולוגיות הנבחנות קיימות שיטות הפרדה פיזיקו-כימי שונות לעיתים בשילוב עם טיפול ביולוגי. ברפתות החלב בארץ עדיין רוב הרפתות לא התקינו מתקן קדם טיפול לפני הזרמה למט"ש. קיימות מספר חברות המציעות פתרונות אולם התוצאות עדין לא משביעות רצון.

טיהור מי ביוב בעזרת צמחי מים מתקיים בטבע וגם באופן מלאכותי במקומות שונים בעולם בהצלחה רבה. עקרון הפעולה של השיטה מתבסס על תכונתם הייחודית של צמחי המים לקלוט חמצן באוויר ולהעביר אותו לשורשיהם. בסביבה רווית החמצן של השורשים מתפתחים מיקרואורגניזם שונים (כ-10,000 מינים שונים, חיידקים, אנזימים ופטריות, הספציפיים לצמח ולסביבת הביוב שבה הוא גדל) בעלי יכולת פירוק וספיחה מדהימים של רעלים וגורמים פתוגניים.

מושג ה- PHYTOREMEDIATION ("ריפוי על ידי צמחים") הינו מדע מתפתח המשמש לא רק לטיהור ביוב אלא גם לטיהור נחלים ואגמים מזוהמים, טיהור קרקע באיזורים נגועים וכדומה, הקונספציה פותחה בגרמניה בשנות השישים, וזכתה לפריחה מיוחדת בארצות סקנדינביה וצפון אמריקה וכיום יותר ויותר בכל רחבי העולם.

"אילה מים ואקולוגיה" פיתחה את המערכת הטבעית (מב"ט), אשר עושה שימוש במגוון רחב של מרכיבים טבעיים בלבד, ביוטיים (צמחיים) וא-ביוטיים (סדימנטים) וכן צורת זרימה שונות ומשתנות. המגוון הרחב של מרכיבים טבעיים שונים מאפשר התאמת המערכת לכל איכות וסוג שפכים, לכל איכות קולחין נדרשת ולכל אקלים וסביבה. מבנה המערכת יוצר תנאים פעילים בו זמנית לסינון פיסיקאלי, כימי וביולוגי כך שהתוצר הסופי המתקבל הוא טיהור רחב של סוגי המזהמים, לאיכויות גבוהות ביותר וללא כל תוצרי לוואי.

העקרון הבסיסי המנחה את המערכת הינו – מינימום טכנולוגיה צורכת אנרגיה ומינימום תחזוקה ומעורבות אנושית. מטרת המחקר הינן לבחון האם ה"מערכת הביולוגית הטבעית" (מב"ט) מצליחה לטפל בשפכי רפתות

ולהגיע לתוצאות טובות. השערת העבודה הינה שטיפול בשפכי הרפת בשיטת ה"מערכת הביולוגית הטבעית" תגרום ל: עמידה בערכי טור ב' הנדרשים בכללי מים וביוב (ערכים סניטריים).

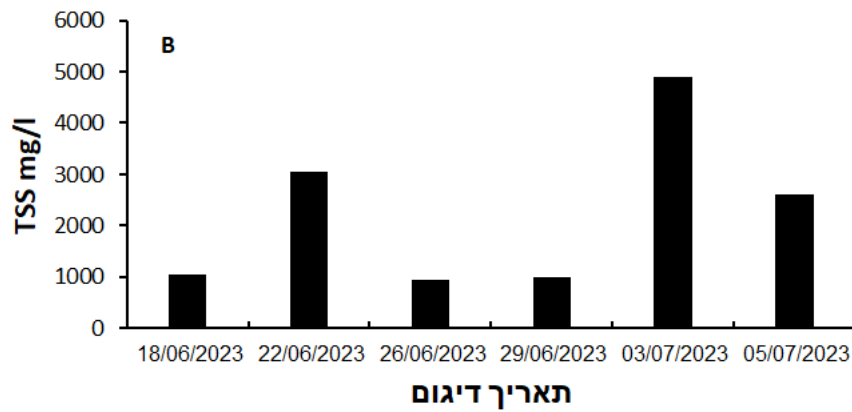
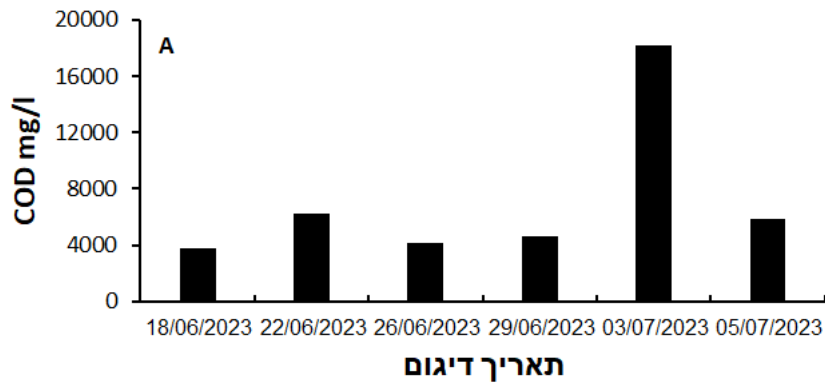
שיטות וחומרים / מהלך הניסוי:

ברפת כדורי מכון החליבה ובור הפרדת המוצקים הסטטי נמצא במעלה, עובדה זו אפשרה למקם את בריכות הטיפול במורד וכך לקבל זרימה חופשית בין מערכת הפרדת המוצקים הראשונית לבין בורות הטיפול. כמו כן, השטח בו מוקמו שני בורות הטיפול נמצא בשיפוע אשר אפשר זרימה חופשית (גרוויטציונית) בין בור הטיפול הראשון לבין בור הטיפול השני. מבור הטיפול השני השפכים זורמים בזרימה חופשית אל המט"ש המקומי להמשך טיפול. לאחר שהוסכם התכנון הראשוני והעלאתו על סקיצה (מצורפת) יצאנו לתכנון מפורט. בשלב הראשון נערכה מדידה בשטח על ידי מודד מוסמך אשר מדד על פי דרישות המתכנן. עם קבלת תוצאות המדידה יצא המתכנן לתכנון מפורט של כלל המערכת (מצורפת התוכנית). עם סיום התכנון המלא והמפורט של כלל המערכת, הוצגה התוכנית בפני הנהלת בית הספר כדורי. לאחר קבלת האישור מהנהלת בית הספר כדורי נבחר קבלן מבצע מתוך כמה אפשרויות ויצאנו לתחילת העבודות בשטח. חשוב לציין, שהקבלן שנבחר היה קבלן מצוין אשר היה מחויב לעבודה, גילה גמישות רבה לכלל הבקשות שעלו במהלך ההקמה כי הרי זהו מתקן ראשוני שעדיין לא נבנה בעבר. לאחר הקמת המתקן אשר כלל את מערכת ההפרדה הראשונית, את שתי בריכות הטיפול ואת החיבור ביניהן. הבריכות נבנו גודל של 40 מ"ר כל בריכה (5x8), נפח הבריכה הראשונה כ- 44 קוב ונפח הבריכה השנייה 36 קוב. בבריכות הטיפול יושמו המצעים והצמחים הייחודיים לשיטה זו. הצמחים אשר נשתלו במערכת נקבעו על פי אופי השפכים הנכנסים, איכות הטיפול הנדרשת, תנאים סביבתיים, טמפ' ועוד. הצמחים אשר נשתלו הינם: גומא ירקון, ספרטינה, ג'ונקוס, קנה אינדיקה, טליה. לאחר סיום הקמת מערכת הטיפול (שתי הבריכות כולל הצמחים) היא חוברת לזרם השפכים של הרפת. עם הפעלת המערכת התגלו כשלים בעיקר בשלב הראשון של סינון המוצקים הראשוני. המערכת יוצבה במשך כשבועיים שלושה במהלכם התבצעו ההתאמות הנדרשות ולאחריהן החלה המערכת לפעול באופן רציף. נתנו למערכת לעבוד באופן רציף למשך כחודשיים ולאחריהם התחלנו לקחת דגימות לבדיקת ערכי השפכים משתי נקודות: א. לאחר הסינון הראשוני. ב. לאחר בריכות הטיפול.

תוצאות:

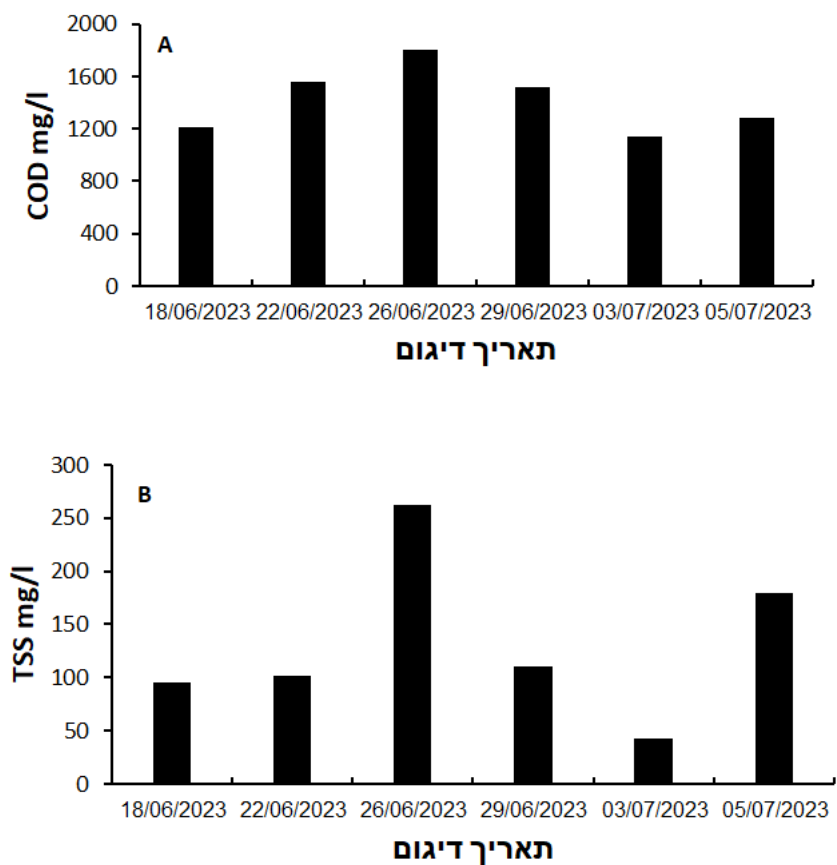
סינון ראשוני התבצע עם יציאת השפכים ממכון החליבה על ידי בניית מחסום פיזי אשר מונע את מעבר החומר המוצק ומאפשר מעבר מים / שפכים בלבד. תוצאות הסינון הראשוני לערכי COD ו TSS מתוארות בגרף 1. ניתן לראות שערכי ה COD (גרף IA) הינם גבוהים מאוד ורחוקים מערכי הסף המותרים להזרמה למט"ש. כמו כן, ערכי ה TSS (גרף IB) גם כן גבוהים ורחוקים מערכי הסף. מערכת הסינון הראשוני למעשה לא נתנה את התוצאות המצופות והערכים הגבוהים אשר התקבלו לאחריהם עלולים לגרום לסתימות בהמשך צנרת ההובלה וכך לפגוע באיכות הסינון.

גרף מספר 1 : ערכי COD ו TSS לאחר הסינון הראשוני



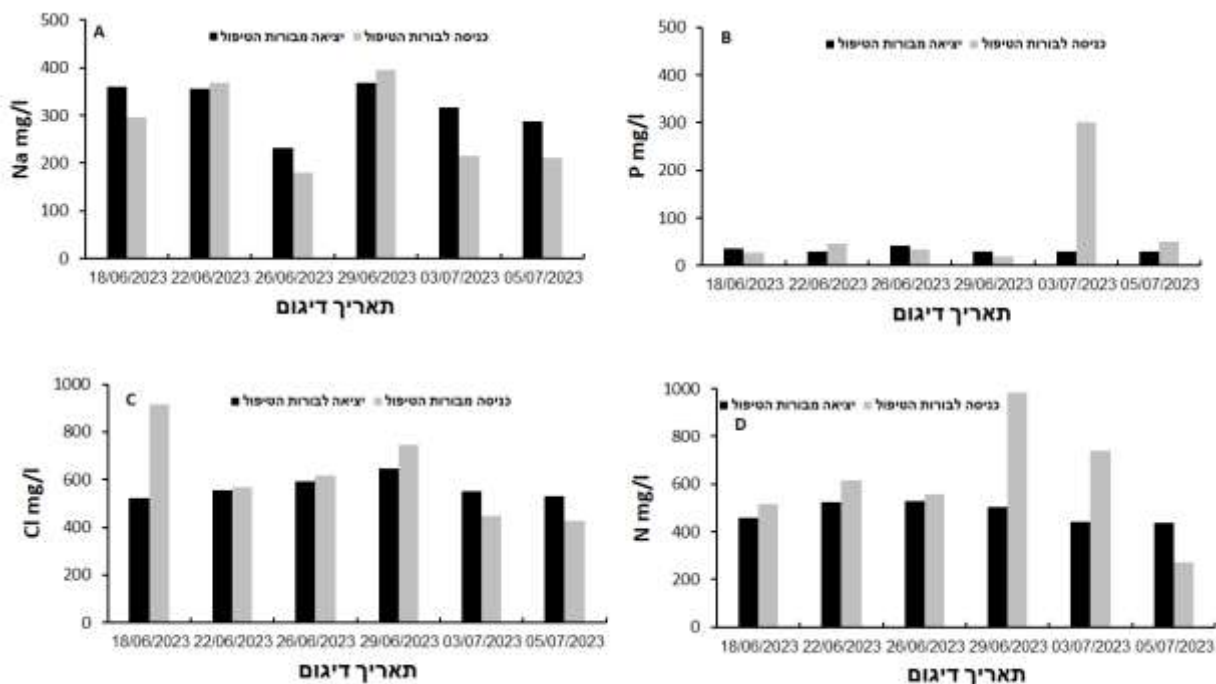
לאחר הסינון הראשוני השפכים הועברו בשיטה גרביטציונית לבריכות הטיפול אשר הוקמו ברפת לפני הזרמתם למט"ש האזורי. למרות הבעיות שנצפתו בתהליך הסינון הראשוני שלא נתן מענה מספיק טוב, ערכי השפכים אשר התקבלו ביציאה מבריכות הטיפול (הזרמה למט"ש) היו נמוכים משמעותית מערכי הכניסה לבריכות הטיפול גם ערכי ה COD וגם ערכי ה TSS והיו מתחת לערכי הסף המותרים להזרמה למט"ש (גרף מספר 2AB).

גרף מספר 2 : ערכי COD ו TSS לאחר בריכות הטיפול



ערכי נתרן, זרחן, כלור וחנקן נבדקו גם הם לאחר הסינון הראשוני ולאחר בורות הטיפול. תוצאות הבדיקות הללו מתוארות בגרף מספר 3A-D. ניתן לראות מהגרף שלבורות הטיפול לאה הייתה השפעה על אף אחד מהפרמטרים הנ"ל וערכיהם לא היו שונים מהערכים לפני בורות הטיפול.

גרף מספר 3 : ערכי נתרן, זרחן, כלור וחנקן לפני ואחרי בריכות הטיפול



דיון ומסקנות:

עבודה זו הראתה שניתן לטפל בכ – 15 קוב שפכים ליום במתקן יחסית קטן שאינו דורש שטח גדול בהשוואה למתקני אגנים ירוקים המוכרים כיום. בנוסף, עלות ההקמה והתפעול של המערכת הינה סבירה בתחום המערכות הקיימות וזולה בהרבה מהקמת אגנים ירוקים. אחת הבעיות בהן נתקלנו היא שמערכת הסינון הראשוני לא פעלה כמו שצריך ולא הצליחה לחסום מחומר אורגני להמשיך במערכת ולהגיע לבריכות הטיפול. תופעה זו אומנם לא פגמה ביעילות בריכות הטיפול כפי שניתן לראות בתוצאות אך לאורך זמן היא עלולה לגרום לסתימות במערכת ולהוביל להשבתתה. בכונתנו בעבודת המשך לנסות למצוא מערכת מתאימה יותר לצורך ביצוע הסינון הראשוני וינן כמה פתרונות אותן נרצה לבדוק. מבחינת תוצאות המעבדה המערכת מביאה לערכים העומדים בתנאי הסף להזרמה למטי"ש הן בערכי ה COD והן בערכי ה TSS. כמו כן, המערכת הינה מערכת טבעית, אקולוגית שגם נראית אסתטית ואינה פוגעת במראה הסביבתי.

רשימת ספרות:

Healy, M.G., Rodgers, M., and J. Mulqueen. 2007. Treatment of dairy wastewater using constructed wetlands and intermittent sand filters. *Bioresource Technology* 98 2268–2281.

Batool, A., Saleh, T. A. 2020. Removal of toxic metals from wastewater in constructed wetlands as a green. Ecotoxicology and Environmental Safety. 189.

תמונה לפני הפעלת המערכת :



תמונה לאחר שתילת הצמחים עם תחילת הפעלת המערכת



תמונה לאחר שהמערכת כבר עובדת כ חצי שנה

