

טיפול משוכלל בשפכים בדרך הטבע (Constructed Wetlands)

אמתי אבנון, לילה יעקב *

הטיפול בשפכים באמצעות "גני טיהור ירוקים" (Constructed Wetlands) מתאים לשפכים סניטריים, תעשייתיים וחקלאיים. הטיפול הינו טיפול אקסטנסיבי משוכלל ומבוסס על תהליכים טבעיים, ללא שימוש בציוד ובכימיקלים. מערכות Constructed Wetlands משתלבות היטב בנוף הכפרי, ומהוות למעשה "כתם ירוק בנוף". איכויות הקולחים המתקבלות הינן גבוהות

מבוא

טיפול בשפכים בשיטות אקסטנסיביות פשוטות הולך ומפנה את מקומו למערכות טיפול משוכללות יותר. זאת, כתוצאה מדרישות לאיכות קולחים משופרת.

בצד השדרוג באיכויות הקולחים המופקות מתמודדים יצרני השפכים עם מערכות טיהור משוכללות, המחייבות תחזוקה ותפעול נמשכים, או לחילופין - עם אגרות טיפול גבוהות, הנגבות ע"י מפעילי מיתקני טיפול אזוריים.

* אמתי אבנון, לילה יעקב, משרד א.א. מהנדסים - הנדסה סביבתית וחקלאית

עיקרון הטיפול

ב-Constructed Wetland

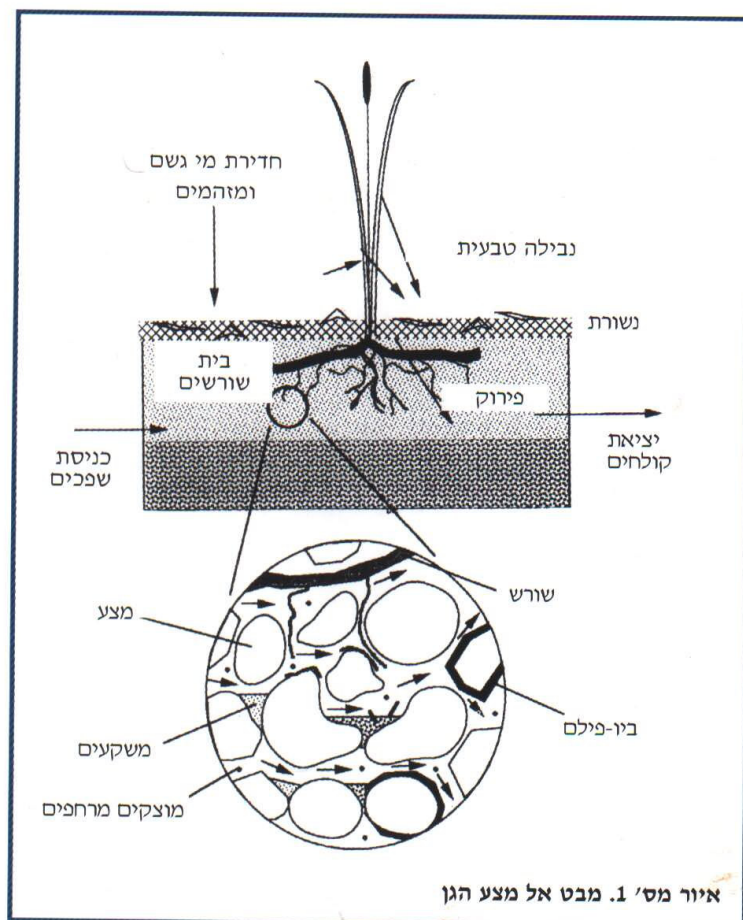
ומנגנוני הרחקת המזהמים

הטיפול בשפכים מבוסס על פירוק מיקרוביאלי טבעי, תוך זרימת השפכים באיזור בית השורשים של צמחים "אקו-טכניים".

מטבע הדברים, בבית השורשים ישנה פעילות מיקרוביאלית ערה - מצע הגידול, או הקרקע באיזור בית השורשים, עשירים מאוד במיקרואורגניזמים מסוגים שונים. מצע הגידול או הקרקע באיזור בית השורשים עשירים מאוד במיקרואורגניזמים מסוגים שונים. החומרים האורגניים שבשפכים - מרכיבי הזיהום - מהווים למעשה מקור נוטריאנטים למיקרואורגניזמים אלו,

טיפול בשפכים באמצעות "גני טיהור ירוקים" - Constructed Wetlands, עשוי, במקרים רבים, לתת מענה מתאים, תוך הימנעות מחסרונות אלו. שיטת הטיפול המוצעת הינה מערכת טבעית, ידידותית מאוד לסביבה, אינה דורשת כל תחזוקה, ועלות תפעול אספית - ללא אגרה. השיטה מוכרת גם בשם Reedbed Filter - וכשמה כן היא - מסנן ביולוגי לשפכים באמצעות מצע קנים.

טיפול בשפכים באמצעות "גני טיהור ירוקים" מתאים במיוחד לשובים קטנים (קיבוצים, מושבים, ישובים קהילתיים), לטיפול בשפכים ממקורות חקלאיים (בעלי חיים ותשטיפים), וכן למפעלי תעשייה, כתלות בנתוני הסביבה, בה הם ממוקמים.



איור מס' 1. מבט אל מצע הגן

ריכוזי המזהמים בשפכים מאיצה את תהליכי הטיהור.

מבנה המערכת

1. זרימה על פני השטח

זרימה תת-קרקעית

בטיפול בשפכים באמצעות Constructed Wetlands מבדילים בין מערכות בזרימה עילית (Flow Surface), מעל פני השטח - בו שתולה הצמחייה, ובין מערכות בזרימה מתחת לפני השטח (Sub-Surface Flow).

תלויה בפרמטרים טכנוניים, כגון כמות החמצן הזמינה. הזרחן נקשר ברובו אל חלקיקי הקרקע - מצע הגידול. חלק מהמתכות הכבדות נקשר אל חלקיקי המצע, וחלקן נקלט ע"י הצמחים. מחקרים הראו, שהרכב וכמות המתכות הכבדות, הנקלטות ע"י הצמחים האקוטכניים, תלוי בסוג הצמח. צמחי קנה מאופיינים בתהליכי אווטרנספירציה (Evapo-transpiration) מוגברים - הצמח מאדה כמות מים גדולה. כך, כמות הנוזלים במערכת מופחתת. עליית

אשר מתאימים עצמם לסוגי המזהמים, ניזונים מהם ומפרקים את המזהמים לתרכובות יציבות.

כך, הצמחים ניזונים ומתפתחים, ואילו השפכים עוברים תהליך טיפול לרמת הטיהור הנדרשת. התהליך משלב, אם כן, שלושה מרכיבי יסוד: א. שפכים המיועדים לטיפול.

ב. מצע גידול - בד"כ תערובת של חול וקרקע מקומית - בעל מוליכות הידראולית, המאפשרת זרימת השפכים דרך המצע.

ג. צמחים "אקוטכניים" - המסוגלים לגדול בסביבת שפכים מזהמים, אשר בד"כ משמשים בתהליך צמחי קנה טבעיים. אך ישנם עוד סוגי צמחים רבים המתאימים לתהליך. שורשי הצמחים פותחים תעלות במצע הגידול, דרכן חודר חמצן אל גוף השפכים, וכן נפתחים נתיבי זרימה בתוך המצע. שורשי הקנה נוטים להתפתח בכיוון אופקי, תוך שתעלות השורשים מתחדשות משנה לשנה. באיור מס' 1 מתואר עקרון התהליך.

הרחקת המזהמים מהשפכים מתבצעת ע"י מספר מנגנונים במקביל. באופן פשוט, ניתן לתאר את מנגנוני ההרחקה כלהלן:

א. הרחקה פיזיקלית באמצעות: שיקוע, סינון, ספיחה ונידוף.

ב. הרחקה כימית: שיקוע כימי, ספיחה, הידרוליזה, חמצון, תגובות פוטוכימיקליות.

ג. תהליכים ביולוגיים: פירוק ביולוגי באמצעות מיקרואורגניזמים ארוביים ואנאירוביים, חילוף חומרים בקטריאל, חילוף חומרים ע"י צמחים, ספיחה ע"י צמחים, נבילה טבעית.

סילוק המזהמים

חנקן משתחרר לאטמוספירה בתהליכי ניטריפיקציה ודה-ניטריפיקציה. יעילות ההרחקה

איכות סביבה

Sludge (Mineralization)

מדובר במערכת, הקולטת את הבוצות, מסננת מתוכן את החומר היבש ומחזירה את הנוזלים למערכת הטיפול בשפכים. בתהליך ביו-דגדציה מתפרק החומר האורגני וע"פ המצע נותרים רק המינרלים. אלו מצטברים ע"פ ה-Wetland ומתייבשים עד לפינויים, הנדרש אחת ל-10-20 שנים. נפח הבוצה מופחת לכדי 2%-5% מהנפח ההתחלתי. מערכות ייצוב בוצה יכולות לשמש בצמוד למיתקני טיהור קונבנציונליים או במיקום עצמאי.

המערכות מתאימות לטפל בבוצה עודפת ממיתקני טיפול בשפכים, כגון מערכות בוצה משופעלת, או לטיפול בשפכים בעלי תכולת חומר יבש גבוהה, למשל שפכי רפת.

ביצועים

ביצועי הטיהור של מערכות Constructed Wetlands תלויים, בעיקר, בשיטת ההזרמה ובשטח המצע. קביעת שטח המצע הנדרש תלויה

אופקית, או בשילוב של הנ"ל.

בהזנה אנכית (ראה להלן **איור מס' 3**) מפוזרים השפכים הגולמיים על-פני השטח ומחלחלים אנכית אל תוך מצע הגידול. השפכים מתנקזים בצנרת, המונחת ע"פ התחתית, אל מחוץ ל-Wetland. מערכות כאלו מתאפיינות בתהליכי פירוק אירוביים בעיקרם (עשירים בחמצן), ולפיכך מאפשרות הורדה ניכרת של BOD, תוך כדי הרחקה של מוצקים מרחפים.

בהזנה אופקית מוזנים השפכים בקצה האחד של ה-Wetland וזורמים אופקית מתחת לפני השטח לאורך שיפוע התחתית. השפכים זורמים אל מוצא המערכת לאחר תהליך, שעיקרו אנאירובי. מערכות אלו מתאפיינות ביכולת טובה של הרחקת COD מהשפכים. (**איור מס' 3**)

במערכת, בה הזרימה מתחת לפני השטח, פני השטח העליונים תמיד יבשים. היתרון הבולט - מניעת דגירת יתושים והיעדר ריחות דוחים, הנפלטם לאוויר. מאמר זה מתייחס רק למערכות זרימה מתחת לפני השטח.

איור מספר 2, להלן, מתאר מבנה עקרוני של מערכת בזרימה מתחת לפני השטח.

יש לשים לב למספר מאפיינים:

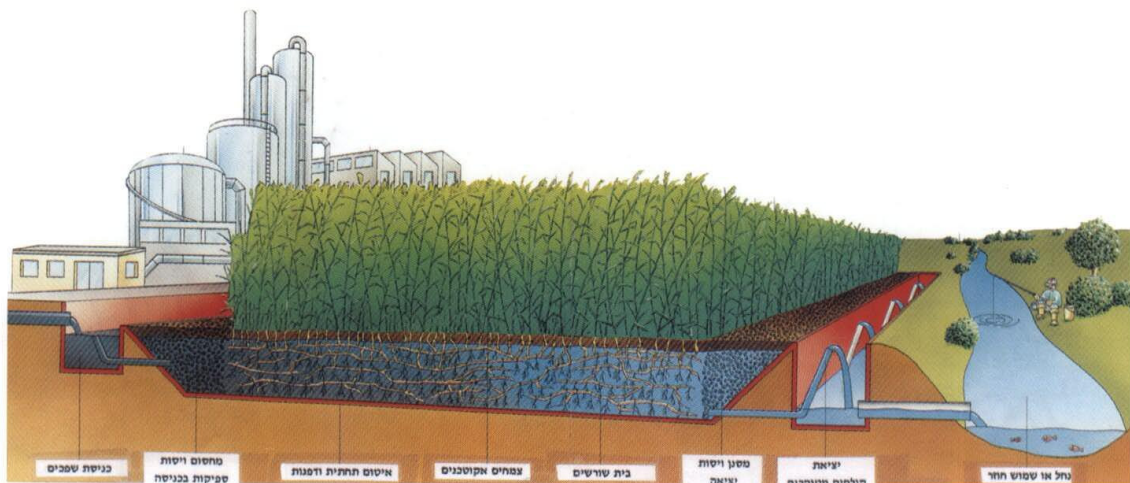
- א.** הקרקעית והדפנות אטומות - בד"כ בריעות גיאוטכניות למניעת זיהום מקורות מים.
- ב.** הקרקעית משופעת קלות בכיוון הזרימה.
- ג.** יציאת קולחים מטופלים מהמערכת — בזרימה גרביטציונית.
- ד.** המערכת מיועדת לטפל בנוזלים, ומתחייב סילוק מוצקים גסים לפני כניסת השפכים למערכת.

טיפול בבוצות

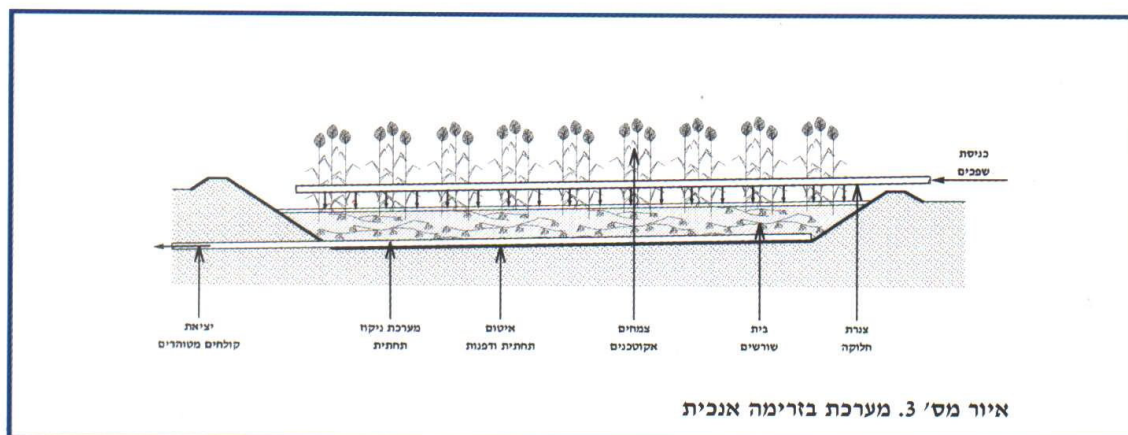
נוסף לטיפול בשפכים, משתמשים במערכת האנכית, המתוארת לעיל, גם לצרכי טיפול בבוצות

2. הזנה אנכית או אופקית

ניתן להזין את השפכים דרך המסנן הביולוגי בזרימה אנכית, בזרימה



איור מס' 2. מבנה עקרוני של מערכת בזרימה אופקית מתחת לפני השטח



באיור מספר 4, שלהלן, מובאות תוצאות אמת, כממוצע ביצועים של מעל 120 מערכות טיפול קטנות, שהוקמו בגרמניה בין השנים 1985-1999. באיורים מספר 5 ו-6 מובאים ריכוזי COD בתשטיפי תחמיץ, ובמי גבינה בהתאמה, בכניסה וביציאה מהמערכת.

k - מקדם התלוי בתנאי הסביבה ובסוג המערכת (אנכית/אופקית), שונה ל-BOD ול-COD.
Q [מ"ק/יום] - ספיקת השפכים היומית.
Ci [מג"ל] - ריכוזי מזהמים בכניסה BOD, COD.
Co [מג"ל] - ריכוזי מזהמים ביציאה BOD, COD.

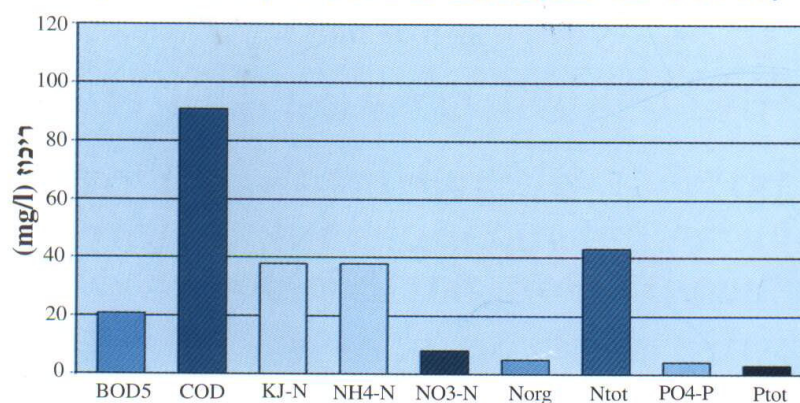
בפרמטרים הבסיסיים: איכויות כניסה ויציאה, כמות השפכים, תנאי אקלים. מקובל להתייחס לתהליך הטיהור כראקציה מסדר ראשון, המבוססת על הנוסחה כלהלן:

$$A = k * Q * \ln(Ci/Co)$$

כאשר:

A [מ"ר] - שטח ה-Wetland הנדרש.

תוצאות אמת של ביצועי גני טיהור ירוקים (על בסיס 123 מתקנים אנכיים ואופקיים קטנים 1985-99)



איור מס' 4: תוצאות אמת של ביצועי Constructed Wetland בגרמניה

נִיכּוֹת סְבִיבָה

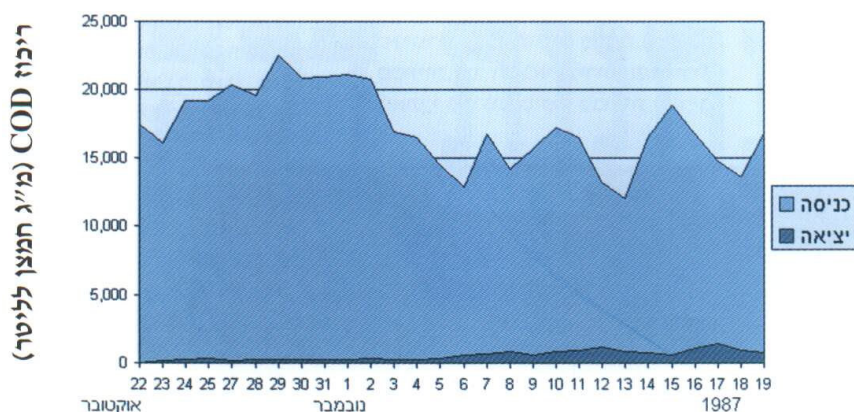
עלויות

בחישוב עלות מערכת טיפול מסוג זה, יש לקחת בחשבון, שהעלות הינה עלות הקמה בלבד. אין עלויות תפעול ותחזוקה. עלות הקמה תכלול את עיקרי

של ישוב, על בסיס הנתונים:
- 500 נפש - מס' תושבים
- 100 מק"י - כמות שפכים יומית
(לפי 200 ליטר שפכים לנפש ליום)
- 400-300 - ריכוז צח"ב בכניסה
מג"ל

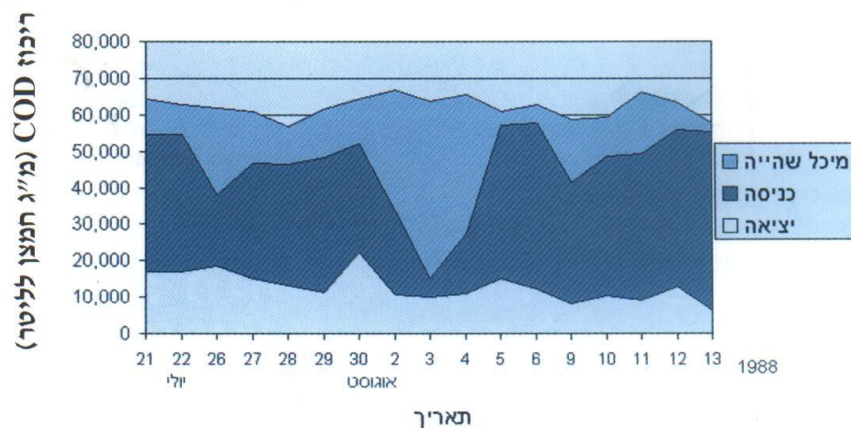
המרכיבים כלהלן: עבודות עפר, צנרת, איטום, הכנת ומילוי מצע הגידול, אספקה ושתילת צמחים, תכנון ופיקוח.
לצורך המחשה מוצגת להלן דוגמה תאורטית של טיפול בשפכים סניטריים

תשטיפי תחמיץ



איור מס' 5. ריכוזי COD בתשטיפי תחמיץ בכניסה וביציאה מהמערכת

שפכי מחלבה - מי גבינה



איור מס' 6. ריכוזי COD בתשטיפים של מי גבינה בכניסה וביציאה מהמערכת

הקולחים המטופלים מוזרמים, בדרך-כלל לנחלים, בזכות איכותם הגבוהה.

בארץ, יש מקום ליישום מערכות אלו כאשר:

- א.** יש עניין במערכת חופשית מתחזקה.
- ב.** יש עניין לחסוך באגרות טיפול בביוב.
- ג.** קיימים תנאים סביבתיים — שטח וטופוגרפיה מתאימים.

כיום, ישנם מס' פרויקטים בשלבי תכנון מתקדמים, במשרדנו, ובתוך זמן מוגדר ניתן יהיה להתרשם מרמת הביצועים בשטח.

תהליכים טבעיים, ללא שימוש בציד ובכימיקלים. מערכות Constructed Wetlands משתלבות היטב בנוף הכפרי, ומהוות למעשה "כתם ירוק בנוף". איכויות הקולחים המתקבלות הינן גבוהות, והמערכת אינה רגישה לתנאים משתנים, כגון שינויים תקופתיים בספיקות, תנאי אקלים משתנים וכד'. באירופה, משמשות מערכות אלו במגוון רחב מאוד של שימושים: שפכים סניטריים, תעשיות פלדה, רחיצת מכונות, נגר חקלאי ועירוני, תשטיפים מאתרי פסולת, טיפול בבוצות וכיו"ב.

דרישת ריכוז צח"ב ביציאה - 20 מג"ל השטח הנדרש ל-Constructed Wetland בתנאי ישראל הוא 1,200 - 1,400 מ"ר. העלות הכוללת המשוערת: 400,000 ש"ח.

סיכום

הטיפול בשפכים באמצעות "גני טיהור ירוקים" Constructed (Wetlands) מתאים לשפכים סניטריים, תעשייתיים וחקלאיים. הטיפול הינו טיפול אקסטנסיבי משוכלל ומבוסס על



טיפול מרוכז בשפכים סניטריים באמצעות CW-Constructed Welltd, באיזור תעשייה קלה המשמש כאי תנועה