

מאת: אמתי אבנון
א.א.מהנדסים, הנדסה סביבתית וחקלאית

Wetlands

דרך טבעית לטיפול בשפכים

גם פשוט גם חכם

דרישות סביבתיות מחמירות ומודעות ציבורית גוברת הביאו בעשור האחרון לשדרוג של מערכות הטיפול בשפכים בישראל. חלק ניכר מהשפכים מטופל כיום ברמה גבוהה יותר מאשר היה נהוג בעבר. רשויות מקומיות רבות הקימו מתקני טיהור משוכללים, ויותר יצרני שפכים מתחברים אליהם. מטבע הדברים, גם עלות הטיפול בשפכים התייקרה.

נטיית הרשויות הנה לחבר יותר יצרנים אל מערכות הטיפול הגדולות, ה"ציבוריות", שבהן תפעול המתקנים מבוקר. ומה עם הישובים המרוחקים? ומה עם המפעלים המרוחקים? כאלו שאין הגיון לחברם למערכות רחוקות? למקרים אלו הפתרונות המקומיים המוצעים נחותים באיכותם ומחייבים בד"כ תחזוקה אינטנסיבית ויקרה, אשר לא תמיד מתקיימת לאורך זמן.

עם שאלות אלו התמודדו גם אנו במשרד התכנון בהקשר לפרוייקטים שעל הפרק. חיפשנו עבור לקוחותינו משהו חדש - יצירתי יותר, פשוט יותר, טוב יותר...

מתברר שאפשר - ללא מכניקה וללא כימיקלים: פילטר ביולוגי פשוט וחכם, שבו מתקיים תהליך טבעי של סינון וטיהור השפכים. שיטה הידועה כ- constructed wetlands מאפשרת טיפול איכותי מאוד בשפכים, אשר אינו נופל ממערכות טיפול אלקטרו מכניות "משוכללות". במבט ראשון "קסם". תרגום חפשי של המונח wetland לעברית הנו: אדמה רטובה, מקווה מים, או כפי שכונה ע"י אחדים "אחו- לח" או "אגנים ירוקים". אנחנו הצענו לכוונת את ה- constructed wetlands כ- "גני טיהור ירוקים".

אין זה עובד?

הטיפול בשפכים מתקיים תוך כדי זרימתם בתוך מצע קרקע החדור בשורשי צמחים (ראה תרשים). השפכים ומרכיביהם עוברים מגוון

של תהליכים מורכבים המתקיימים בו זמנית. בהפשטה, ניתן לקבוע שהטיפול בשפכים ב- wetland כרוך במספר רב של תהליכים המתרחשים באופן טבעי - תהליכים פיזיקליים (שיקוע, סינון, נידוף); תהליכים כימיים (שיקוע כימי, ספיחה, הידרוליזה, חמצון) ותהליכים ביולוגיים (פרוק ביולוגי, חילוף חומרים בקטריאלי, ספיחה ע"י צמחים).

למבקשים להתעמק ב"סודות הקסם" - להלן ניסיון להצגה עקרונית ופשטנית של המתרחש במהלך הטיפול. הצמחים המשמשים לתהליך הנם כאלו המסוגלים להתפתח בסביבת מי שפכים - צמחים "אקו-טכניים". קרקע המכוסה בצמחיה ידועה כבעלת פעילות מיקרוביאלית ערה. פעילות זו מוגברת ע"י שטח פנים גדול ונפח חללים גבוה במבנה הקרקע. תכונה זו מושגת ב- wetland ע"י: א. הכנת מצע קרקע בהרכב חלקיקי מתאים מבחינת גודל החלקיקים והרכבם. ב. שימוש בצמחים בעלי בית שורשים מפותח התורם להגדלת נפח החללים.

למשל: צמחי קנה ששורשיהם מהווים מעין תעלות החודרות בעוצמה את הקרקע ופותחות מעברים, המאפשרים הן מעבר אוויר והן זרימה הידראולית טובה בגוף המצע. הנושאים הנ"ל הנם חלק משלב התכנון ההנדסי הנדרש לפרוייקט. השורשים מספקים לקרקע את החמצן במיוחד בשכבות העליונות של המצע. באזורים אלו יתפתחו תנאים ארוביים (עשירי חמצן). באזורים אחרים, הדלים בחמצן, יתפתחו תהליכים אנארוביים. גוף הקרקע כולל, אם כן, "כיסים" ארוביים ואנארוביים במשובך, ומתפתחת בו פעילות מיקרוביאלית משולבת, שבה פרוק החומר האורגני הנו מהיר ומואץ. הדבר דומה לשלבי הטיפול הארובי והאנארובי במכוני טיהור "קונבנציונליים". אלא שבניגוד להפרדה בין שלבים אלו במכוני

הטיהור, כאן תהליכים אלו משולבים זה בזה. אוכלוסיית המיקרואורגניזמים עשירה ומגוונת מאוד, ולכן יכולת פרוק החומר האורגני גבוהה במיוחד.

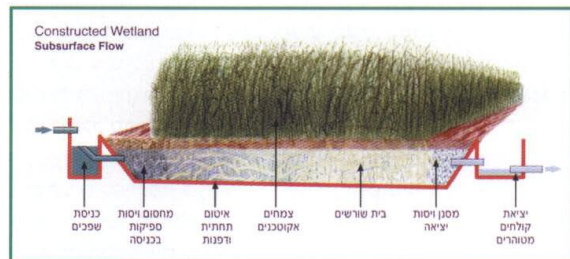
המיקרואורגניזמים הפעילים בקרקע 'ניזונים' למעשה מה"מזהמים" שבשפכים, המהווים עבורם נוטריאנטים חומרי הזנה. ריכוז גבוה יותר של מזהמים יגביר את הפעילות המיקרוביאלית.

הפעילות המיקרוביאלית גורמת להתפרקות ושחרור מזהמים (נוטריאנטים) מהשפכים: זרחן נקשר לחלקיקי הקרקע.

חנקן משתחרר לאטמוספירה בתהליכי ניטריפיקציה/דה-ניטריפיקציה (חנקן אמוניקלי מתחמצן לניטרט, בהמשך התהליך הוא מומר לתחמוצת חנקן נדיפה. החנקן משתחרר לאטמוספירה).

זרימת השפכים בתוך ה- wetland מתקיימת מתחת לפני השטח. פני השטח העליונים יבשים לחלוטין.

באירופה, שבה הנחלים זורמים בכל ימות השנה, מורשת הזרמה אל הנחלים, תוך בקרה תקופתית על איכות הקולחים.



תרשים עקרוני של מערכת טיפול מסוג wetland בזרימה תת קרקעית

wetlands בעולם הרחב

השימוש ב- natural wetlands כיעד להזרמת קולחים עירוניים לאחר טיפול מוכר כבר מהשנים הראשונות של המאה ה- 20. ערים גדולות בארה"ב השתמשו במקווי מים קיימים כפתרון קצה לשפכים הסניטריים לאחר טיפול בהם: כך נהגו ב- Lexington MA החל מ-1912, ובערים נוספות בשנים שלאחר מכן.

רק בחצי הראשון של שנות ה- 80, כאשר כבר מאות ערים השתמשו ב- wetlands, החלה הסוכנות האמריקאית לאיכות הסביבה, ה- EPA, לבדוק את איכות המים ואת ההיבטים הסביבתיים של פעולות אלו. החלו להתברר התכונות הייחודיות של wetlands על מגוון הצמחים שבהן, כמערכות אקולוגיות ייחודיות (ecosystems) המסוגלות לטפל במים ולפרק מזהמים.

המחקרים האקדמיים הראשונים בנושא החלו דווקא באירופה. Prof. R.Kickuth החל את מחקריו על סילוק פנולים וטיפול בשפכי רפת באמצעות צמחי מים מסוימים ב- 1952.

בשנים שלאחר מכן התרחב המחקר בנושא. תחילה על אגני מים טבעיים ובהמשך גם על wetlands מלאכותיים (constructed wetlands), שהוקמו באופן ייעודי לצורך הטיפול בשפכים. יישום השיטה לצורכי טיפול בשפכים תעשייתיים החל באמצע שנות ה- 70. התרחבות השיטה והיישום החלו סביב 1985. מאז השתכללו המערכות, והניסיון שהצטבר אפשר הקמת והפעלת מערכות wetlands באין ספור תחומים ויישומים. כיום ניתן לראות את השיטה בתחומי התעשייה, חקלאות, שפכים עירוניים, תעשיות מזון ועוד שימושים רבים. המהנדסים האקולוגיים מסוגלים כיום לתכנן מערכות טיפול תוך הכרת ההיבטים ההידראוליים, הבוטניים והסביבתיים המשפיעים על התוצאות. מערכות wetland פועלות ברחבי העולם בתנאי אקלים שונים. באירופה, בארה"ב, בדרום אמריקה, בהודו ובעומן. באזורים קרים עד כדי קפיאה ובאקלים חם ומדברי. במקרים רבים משלבים תכנון נופי מתוך הכרה, שאין מדובר רק במערכת פרקטית הנדסית, אלא בהזדמנות לתרום לסביבה נאה ואקולוגית.

להלן דוגמאות ספורות מסיוור באירופה:

אזור תעשייה Hog Industrial Village, שבדיה

אזור התעשייה מאכלס תעשיות קלות ויבשות. בתי מלאכה, נגריה, מוסכים, תחנת שטיפה לאוטובוסים וכיו"ב.

כל השפכים הסניטריים נסגרים אל כיכר הכניסה לאזור התעשייה המשמשת גם כאי תנועה. באמצע הכיכר (!!!) ממוקם wetland בו מטופלים כל שפכי אזור התעשייה (ראה תצלום).

השטח הכולל 1,000 מ"ר. הקולחים המטופלים משתחררים בגריטציה אל בריכת נוי סמוכה (עם שולחן לפיקניקים בצמוד), וממנה גולשים אל הנחל הסמוך. האיכויות מבוקרות ע"י הרשויות.

המערכת פועלת כבר 10 שנים. המבקר במקום אינו יכול להבחין כלל בעובדה שמדובר בטיפול בשפכים. הזרימה כולה מתקיימת מתחת לפני הקרקע, אין שום ריחות רעים, ופריחת הצמחים בבריכת הנוי מקשטת את פינת הישיבה הסמוכה.



תמונה מס' 1. הכיכר המרכזית באזור התעשייה המשמשת גם לטיפול בשפכים.

מוקדם בשפכים המשתחררים ממעבדה כימית בקמפוס. ע"פ החוק בדנמרק אין להזרים שפכים כאלו אל מערכת הביוב הציבורית ללא טיפול קדם.

המערכת בנויה מעל פני השטח, ומכוסה בהיקפה בצמחי נוי. בסמוך ל wetland ישנם ספסלים המיועדים למנוחה והנאה מהשמש, שאינה אורח יומיומי באזור זה. המערכת מיועדת לטפל בכמות מרבית של 10 מ"ק ליום. השפכים המטופלים מוזרמים הלאה אל מערכת הביוב העירונית להמשך טיפול "קונבנציונלי". הפתרון הנופי שהוצג מרשים וידידותי. רק מי שכן נאמר לו ידע, שמדובר במערכת טיפול בשפכים. (ראה תמונה 4).

שאלות אופייניות

האם אין מטרדי יתושים?

התפתחות יתושים מחייבת שילוב של תנאי רטיבות וחום. המערכות שתוארו לעיל מאופיינות בזרימת שפכים מתחת לפני השטח בתווך נקבובי. זרימה כזו אינה חשופה לאטמוספירה, ואינה גורמת לשטחים לחים או רטובים. אין יתושים.

מה לגבי מטרדי ריח?

תהליכי פרוק אנארובי של חומרים אורגניים עלולים להיות מלווים בהיווצרות גזים בעלי ריחות רעים. גזים אלו נספחים ע"י חלקי חרסית וקולואידים במצע הקרקע, אשר הנם בעלי יכולת ספיחה גבוהה. כתוצאה מכך ובתוספת העובדה שהתהליך מתקיים מתחת לפני השטח, לא מורגשים ריחות רעים ליד מתקני ה- wetlands.

איך מחושב השטח הנדרש?

שטח המערכת תלוי בגורמים רבים, ביניהם: סוג ואופי השפכים, כמות וספיקה, התנאים הסביבתיים, ריכוזי המזהמים בכניסה למערכת והרכיבים המתבקשים במוצא. הגורם היותר משמעותי הוא הספיקה היומית של השפכים הנכנסים למערכת. השטח הנו יחסי ישר לכמות השפכים. בהקשר לתנאים הסביבתיים, יש לנו בארץ יתרון על פני ארצות בעלות



תמונה מס' 2:
צמחיה פורחת סביבת הנוי הסמוכה למערכת
הטיהור Hog industrial village

שדה התעופה Schönefeld, ברלין, גרמניה

זהו אחד משלושת שדות התעופה המשמשים את ברלין. בגלל תנאי החורף הקשים מצטבר קרח על החלקים החיצוניים של המטוסים. תקנות הבטיחות אינן מאפשרות למטוסים להמריא במצבים אלו, ולכן מרססים את המטוסים בחומרים מונעי קפיאה בטרם ההמראה.

החומרים המשמשים הנם כימיקלים (Glycols ואחרים), המוחלפים מידי פעם ונחשבים רעילים מאוד לסביבה. שאריות חומרים אלו מתפזרות ע"פ משטחי הבטון בשדה, וביחד עם מי הנגר מהווים תשטיפים רעילים ומזיקים.

לפיכך, כל מי הנגר בשדה נאספים ומטופלים על פני 15 דונם של wetlands. המערכת כוללת מספר שלבי טיפול: בשלב הראשון התשטיפים נאגרים במערכת המיועדת הן לטיפול והן לאגירה בתקופת החורף. ההזרמה אל שלב הטיפול השני מתקיימת לאורך כל השנה, במטרה לצמצם את גודל המערכת (טיפול בכל התשטיפים הנוצרים בחורף בזמן אמת היה מחייב שטחי טיפול גדולים יותר). התשטיפים המטוהרים מוזרמים אל גוף מים טבעי, הסמוך לשדה ומהווה חלק מנוף המים בסביבה (ראה צילום 3).

האוניברסיטה הטכנית של קופנהגן

בלב הקמפוס, בעיר קופנהגן, מצויה מערכת wetland קטנה המשתלבת בתכנון הנופי של החצר שבה היא ממוקמת. המערכת מיועדת לטיפול



תמונה מס' 4:
טיפול קדם בשפכי מעבדה כימית בלב הקמפוס
האוניברסיטה הטכנית בקופנהגן



תמונה מס' 3:
טיפול בתשטיפים רעילים
בשדה התעופה בברלין

אקלים חם פחות. ככלל התהליכים הביולוגיים מואצים ככל שטמפרטורת הסביבה גבוהה יותר.

ע"מ לתת סדרי גודל בלבד, ניתן לומר שבתנאי הארץ הטיפול בשפכים סניטריים יחייב בין 2-3 מטרים רבועים לנפש (כתלות בנתונים הספציפיים), ע"מ להביא את הקולחים לאיכות הנדרשת ע"פ החוק. כך, ישוב בן 500 נפש, המייצר כ- 100 מ"ק שפכים ליום, יידרש ל-wetland בשטח כולל שבין 1,000-1,500 מטרים רבועים.

יתרונות עיקריים ביחס למערכות טיהור אחרות

בהיות המערכת מאוזנת מבחינה ביולוגית לא נוצרת בוצה עודפת בתהליך. לפיכך, אין צורך לפנות בוצה ולטפל בה. כל החומר האורגני מאוכל, אין הצטברות חומרים עודפים במערכת. המערכת אינה תלויה בתחזוקה חיצונית. אין ציוד אלקטרו-מכני ואין תוספים כימיים. אין צורך לטפל בצמחיה ההתרבות הנה טבעית ואפילו אגרסיבית. יישום מערכות wetlands לטיפול בשפכים חוסך התחברות אל מערכות טיפול ציבוריות או אזוריות. לפיכך נמנעים תשלומי אגרה שנתיים לרשויות על טיפול בביוב. ניתן לנצל את המערכת ליישום פתרונות בעלי ערך נופי שילוב צמחיה מיוחדת ויצירת 'נקודה ירוקה' בנוף.

יישום בארץ ויחס הרשויות

אצל הגורמים הממסדיים, האמונים על אישור מערכות טיפול בשפכים, ישנו חשש ממתקני טיפול המחייבים תחזוקה אינטנסיבית. גם במשרדנו אנו למדנו, שמערכות המוחזקות בארגונים קטנים עלולות להיכשל בגלל "עייפות" המתחזקים, או בגלל חוסר מקצועיות של הממונים על התחזוקה. מינוי גורם חיצוני מסחרי לתחזוקה עשוי להיות פתרון טוב, אלא שבשלב זה או אחר העניין מתחיל להיות נטל כלכלי, ועלול לקרות שהדברים יזנחו. מערכות wetlands חופשיות למעשה מתחזקות, ובכך יתרון הבולט. יש בהחלט מקום להציע בישראל מערכות wetlands כאשר התנאים מתאימים לכך.

במגענו עם משרדי הממשלה השונים נתקלנו בפתיחות רבה לטכנולוגיה המוצעת. התקבלו אישורים עקרוניים ליישום מערכות wetlands ממשרדי הבריאות, איכות הסביבה ונציבות המים. ברור, שכל מערכת ספציפית חייבת לקבל את אישור המוסדות כחוק.

מספר מערכות wetlands הנמצאות בשלבי תכנון מתקדמים או לקראת ביצוע, קיבלו כבר את אישורי המוסדות הרלוונטיים. יתרה מזו, אושרו גם מענקים ייחודיים לפרוייקטים לדוגמה. ב-"א.א. מהנדסים" לקחנו על עצמנו כאתגר את קידום יישום מערכות ה-wetlands בארץ.

זאת מתוך הבנה, שישנה בכך הזדמנות להציע מערכות אמינות מאוד, אשר תוכלנה לפעול היטב בתנאים המקומיים גם לאורך זמן. מזה למעלה משלוש שנים עוסקים בתכנון וקידום הנושא בליווי צמוד של חברת יעוץ בינלאומית, אשר התנסתה בתכנון מאות מתקנים בתנאי

אקלים שונים ברחבי העולם באירופה, באפריקה, במזרח התיכון, בדרום אמריקה ועוד.

הגם שהמערכות הן פשוטות לכאורה, הניסיון התכנוני וההנדסי הנו קריטי להצלחה.

למי זה מתאים?

קיבוצים, מושבים, ישובים קהילתיים: ישובים מסוג זה מרוחקים בדרך כלל ממערכות אזוריות. בחלק מהם פועלות עדיין ברכות חמזון למיניהן, או אפילו מאגרי קולחים. הרבה מאוד מבריכות החמזון אינן פועלות כבר כמתוכנן (אולי מהעמסת יתר במשך השנים או רמת תחזוקה נמוכה), עכ"פ - בוודאי שאיכות הקולחים המופקים מהן כבר אינה תואמת את הדרישות העדכניות.

יישום טכניקת ה-wetlands בישובים כאלה תבטיח טיפול עצמאי בשפכים הנוצרים בישוב, איכות טיפול גבוהה, ומניעת הצורך לשלם אגרות בויב למפעלי הטיהור האזוריים. למעשה - הורדת עלות הטיפול השוטף בשפכים כמעט לאפס.

מפעלי תעשייה ושפכים תעשייתיים: גם למפעלי תעשייה מרוחקים ישנם יתרונות בהקמת מערכת עצמאית לטיפול בשפכים. כמו כן, מפעלי תעשייה שבהם נוצרים שפכים תעשייתיים מוגבלים ע"י החוק בסף עליון של ריכוז מזהמים המורשים להשתלב במערכות הטיפול האזוריות. במקרה כזה נדרש "טיפול קדם" בתחום המפעל. מערכות Wetlands מסוגלות לשמש לטיפול קדם - הכנה להזרמת השפכים למערכת הציבורית. ברוב המקרים ישנה יכולת טובה לסילוק מתכות כבדות מתוך השפכים. אלו נספחות אל חלקיקי המצע, או גם נקלטות ע"י הצמחים המותאמים למרכיבים הספציפיים שבשפכי התעשייה.

טיפול בבוצה: בוצה הנה תערובת רטובה של שפכים המכילים ערכים גבוהים יחסית של מוצקים. יכולת הסינון והמיצוי של הפילטר הביולוגי משמשת גם לטיפול וייצוב בוצה. השיטה נקראת sludge mineralization. הבוצה מופרדת לפרקציית נוזלים ולפרקציית מוצקים. אלו עוברים תהליך ייבוש והתפרקות ביולוגית, שבסופו רק המינרלים הבלתי מתפרקים נותרים כאבקה מיובשת. הפתרון מתאים למכוני טיהור, שבהם נוצרת בוצה עודפת, וכן לטיפול בשפכי בעלי חיים - רפת, אווזיות וכד'. כך למשל, מתוכננות כיום מספר מערכות, אשר יטפלו בשפכי רפת כטיפול קדם, לפני שילובם במערכת האזורית כטיפול קצה.

שיקום נחלים: המציאות היא שרבים מהנחלים בישראל מהווים יעד להזרמת שפכים בלתי מטופלים. Wetlands הנם פתרון מתאים מאוד לטיפול בשפכים לפני כניסתם לנחלים. ניתן לפתח פארקים נופיים על גדות הנחלים על פני שטחים נרחבים, שיהיו אטרקציית נופש תוך מניעת זיהום נחלים.

סיכום

הטיפול בשפכים באמצעות wetlands מבוסס על תהליכים טבעיים הפועלים כמסנן ביולוגי, ואינו כרוך בהפעלת ציוד אלקטרו מכני. השיטה משמשת ברחבי העולם, והשימוש בה הוא והתבסס בשני העשורים האחרונים. ייחודה של השיטה הנו בהיותה חופשית בעיקרה מתחזוקה ומאוד אמינה. ניתן לטפל בשפכים ממקורות שונים ולהגיע לאיכויות קולחים גבוהות. הטיפול נחשב כאקסטנסיבי משוכלל, ומחייב הקצאת שטח להקמת גני הטיהור. יישום wetlands מתאים לישובים ומפעלי תעשייה, המרוחקים ממערכות איסוף וטיפול אזוריות. באמצעות wetlands ניתן גם לבצע טיפול קדם לשפכים קשים, לפני שילובם במערכות הטיפול הקונבנציונליות. המסנן הביולוגי משמש גם לטיפול בבוצות העשירות בחומר אורגני וחומר יבש.