

טיפול ביולוגי בשפכים פרמצבטיים באמצעות נשאי ביומסה- טבע ירושלים כמקרה בוחן

אילון גוטמן, ניר אסולין

Eilon@aqwise.com

רקע

שפכים תעשייתיים ככלל ושפכים בתעשיית התרופות בפרט עשויים להכיל עומסים גבוהים של חומר אורגני בספיקות משתנות במהלך היום, השבוע והחודש כתלות בתהליכי הייצור ובזמני עבודת המפעל. עקב כך הטיפול בשפכים התעשייתיים הופך למשימה מורכבת ומאתגרת במיוחד. התעשייה הפרמצבטית מגוונת ובעלת תחום פעילות נרחב. אך באופן כללי ניתן לראות שני סוגי מפעלים הקיימים בתחום: מפעלים בהם מכינים את מרכיבי התרופות ומפעלים שבהם מייצרים את הטבליות והאבקות. במפעלי הטבליות, מקור השפכים הינו בקווי הייצור העשויים להכיל ממסים אורגניים, חומצות, בסיסים ודטרגנטים. תהליכי טיפול שונים כגון תהליכים פיזיקו-כימיים ותהליכי טיפול ביולוגיים מיושמים במפעלים ברחבי העולם ונותנים מענה לאתגר זה.

טיפול ביולוגי בשפכים

לב תהליך הטיפול בשפכים הינו הטיפול הביולוגי לסילוק המזהמים מהשפכים. תהליך זה משתמש בחומרים אורגניים ונוטריינטים הקיימים בשפכים כ"מזהמים" בתור חומרי הזנה לגידול ובניית תאי החיידקים. על ידי יצירת תנאים סביבתיים מתאימים (כגון אספקת חמצן, ערכי הגבה וטמפרטורה) ניתן ליצור סביבה המעודדת את גידול החיידקים. בתהליך הביולוגי הביומסה יכולה להתקיים בשני אופנים עיקריים: ביומסה מרחפת או ביומסה מקובעת. בביומסה מרחפת החיידקים נמצאים בנוזל באופן חופשי ומורחפים על ידי בחישה כפי שמתבצע בשיטת בוצה משופעלת. ואילו בשיטת ביומסה מקובעת החיידקים צמודים למשטחים (ביופילם) המצויים בנוזל. הביופילם יכול להיות מקובע על מצע של אבנים או משטחי פלסטיק כשיטת אגנים ירוקים ו-Trickling filter או על גבי מצע מרחף בתצורה של נשאי ביומסה בשיטת attached growth (AGAR®) airlift reactor. בדרך כלל לאחר שלב הטיפול הביולוגי מתבצע תהליך הפרדת מוצקים הבא להרחיק את שאריות החיידקים (הביומסה) מהקולחים. המוצקים מרוכזים ומפונים כבוצה עודפת והקולחים נטולי המוצקים נשלחים למחזור, השקיה או למערכת הביוב העירונית בהתאם לאיכותם.

טכנולוגיית attached growth airlift reactor (AGAR®) הידועה גם כ- (MBBR) Moving Bed Biofilm-reactor הינה שיטה המבוססת על ביומסה המקובעת לנשאים (גופי פלסטיק) המרחפים באופן חופשי בנוזל (איור 1). נשאי הביומסה הינם בעלי שטח פנים אפקטיבי של 650 מטר רבוע למ"ק. שטח פנים גדול המאפשר גידול ביופילם על גבי הדפנות הפנימיים של הנשא בתוך סביבה מוגנת (איור 2). השטח הפעיל מאפשר טיפול ביולוגי בטביעת רגל קטנה ביחס לתהליכי טיפול ביולוגי אינטנסיביים מקבילים כגון בוצה משופעלת. זרימת המים וכוחות הגזירה בתוך הנשא מאפשרים מעבר מתמיד של חומרי הזנה וחומר אורגאני, המקנים לחיידקים סביבה אופטימאלית לגידול, תוך שמירה על עובי ביופילם המותאם לטיפול בעומס האורגני הנדרש (איור 3).

יתרונות טכנולוגיית ה-AGAR®:

1. עבודה בעומסים אורגניים גבוהים תוך עמידה בתנודתיות גבוהה של עומס השפכים הנכנס למתקן, דבר המאפשר בניית מתקנים קטנים וחסכון בשטח.
 2. עמידות בפני תנאי עקה ותנאים קיצוניים הודות למבנה השכבתי של הביופילם ולמבנה ריאקטור רב שלבי.
 3. טכנולוגיית ה-AGAR® אינה נסמכת על תכונות השיקוע של המוצקים, כמו בתהליך הבוצה המשופעלת. הביומסה מקובעת לנשאים המוחזקים בריאקטור באופן פיזי על ידי רשתות ייחודיות המונעות את מעבר הנשאים מתא לתא. עקב כך, הביומסה נשארת כלואה בריאקטור על גבי הנשאים ואינה מחייבת סחרור בוצה ותלות בסלקציית החיידקים לשיקוע. ידוע כי בתהליכי בוצה משופעלת תכונות השיקוע עשויות להוות נקודת חולשה ביציבות התהליך.
- טכנולוגיית ה-AGAR® הינה מודולרית ומבוססת על רב שלביות. עקרון הרב שלביות מאפשר סלקציה של אוכלוסיות מיקרוביאליות שונות בכל אחד מהשלבים בתהליך הטיפול דבר היוצר התמחות ביכולות טיפול שונות כגון הרחקת חומר אורגאני, ניטריפיקציה ודניטריפיקציה, זאת בהתאם לאיכות הקולחים הנדרשת. כיום חברת אקוויז מיישמת את הטכנולוגיה במגוון רחב של תחומים החל בטיפול בשפכים עירוניים, טיפול בשפכי תעשייה קשים כגון התרופות, המזון והנייר וכלה בטיוב בארות למי שתייה המזוהמות בחנקות.

האתגר הטכנולוגי - מפעל טבע י-ם כמקרה בוחן

מפעל טבע ירושלים הינו מפעל לייצור תרופות המייצר מגוון טבליות, כמוסות ואבקות לייצוא לארה"ב, אירופה, קנדה וישראל. המפעל עתיד לייצר, בשיא פעילותו, כ- 12 מיליארד טבליות בשנה. השפכים הנוצרים כתוצאה מפעילותו השוטפת של המפעל החל בשטיפת קווי הייצור וכלה בניקוי צנרת באמצעות חומצות ובסיסים חזקים מוזרמים אל מתקן הטיפול בשפכים. אופי השפכים המוזרמים למתקן משתנה כתלות בפעילות המפעל, עקב כך, קיימת תנודתיות רבה בספיקות הכניסה, עומסים אורגניים, ערכי הגבה וטמפרטורות כפי שניתן לראות בטבלה 1.

טבלה 1: אפיון השפכים וערכי התכנון

פרמטרים	יחידות	ערכים ממוצעים	ערכים מקסימליים
ספיקת תכנון	m ³ /d	200	300
טמפרטורה	°C	35	60
COD	mg/l	5,000	8,000
עומס COD	kg/d	1,000	1,350
ערך הגבה - pH		4 - 12	

תהליך הטיפול

מתקן פיזיקו-כימי לטיפול בשפכי מפעל טבע ירושלים אשר הוקם בעת הקמת המפעל פעל באופן חלקי ובעלויות תפעול גבוהות ולא עמד באיכות הקולחים הנדרשת. לאחר פניה לחברת אקוויז, הוקם מתקן פיילוט שבו נבחנה יכולת הטיפול הביולוגי בשפכי המפעל. לאור תוצאות הפיילוט בשנת 2010, חברת אקוויז שדרגה את מערך טיפול השפכים התעשייתיים של מפעל טבע י-ם, בפרויקט שנמשך כ-20 שבועות. האתגר בשדרוג המתקן היה שימוש בריאקטורים הקיימים במתקן טיפול השפכים והסבתם לריאקטורים המותאמים לתהליך ה-AGAR[®]. החל מינואר 2011 אחראית אקוויז על התפעול השוטף של המתקן.

מטרת המתקן היא לטפל בשפכים התעשייתיים לרמה הנדרשת על פי חוק להזרמה למערכת הביוב העירונית של 2,000 מג"ל COD ודרישה ייחודית להזרמה לביוב של 300 מג"ל מוצקים מרחפים (TSS).

עקב התנודתיות הרבה באופי השפכים הנכנסים והחשש לתופעות של עיכוב הגידול ותנאי עקה במערכת הביולוגית האגן האירובי מחולק לשני תאים המכילים נשאי ביומסה. המתקן תוכנן כך שעיקר הפירוק הביולוגי מתבצע בתא הראשון ואילו התא השני משמש כגיבוי לאירועים ועומסים חריגים.

העומס האורגאני הממוצע הנכנס למתקן במהלך שנת 2011 הוא 760 ± 125 kgCOD/d, בערכי הגבה 4-12 ובטמפרטורת כניסה הנעה בין 25 ל- 55 מ"צ. תנודתיות זו מצריכה תהליך טיפול יציב ורב שלבי הנותן מענה לשינויים באופי השפכים הנכנסים למערכת הטיפול.

המתקן כולל מערכת טיפול בחמישה שלבים כאשר שלבי הטיפול המקדימים לתהליך הביולוגי נועדו לאפשר תנאים אופטימליים למערכת הביולוגית לטובת סילוק החומר האורגאני (איור 4):

- (1) תא איזון לוויסות כניסת השפכים ולנטרול ערך ההגבה
- (2) קירור השפכים לטמפרטורה נמוכה מ-35 מ"צ באמצעות מחליף חום והשבת חום למפעל
- (3) טיפול ביולוגי בריאקטור אירובי דו שלבי בטכנולוגיית AGAR®
- (4) הפרדת מוצקים באמצעות מערכת (DAF) dissolved air flotation - מערכת להצללת קולחים באמצעות הצפת המוצקים הנוצרים בריאקטור על ידי החדרת בועות אוויר עדינות במיכל ההפרדה וגריפתם אל תא לאיסוף הבוצה.
- (5) מערכת לסחיטת בוצה באמצעות צנטרפוגה - המוצקים לאחר תהליך הסחיטה מפונים להמשך טיפול ברמת חובב.

המתקן נשלט ע"י מערכת בקרה מרכזית (Human Machine Interface) המאפשרת שליטה ובקרה מרחוק על כל המכשירים המכאניים במתקן הטיפול. מערכת זו מקנה יכולת שליטה על המתקן גם בהעדר מפעיל בשטח.

ייחודה של המערכת הביולוגית טמון ביכולת לעמוד בתנודתיות גבוהה זו תוך עמידה מתמדת באיכויות הקולחין להזרמה לביוב. יכולת סילוק המזהמים של המערכת הביולוגית עומדת בממוצע לשני השלבים יחד על 2.15 kgCOD/m³*d (עבור מ"ק ריאקטור). הריאקטור תוכנן באופן שמרני כך שעיקר הסילוק הביולוגי מתבצע בשלב

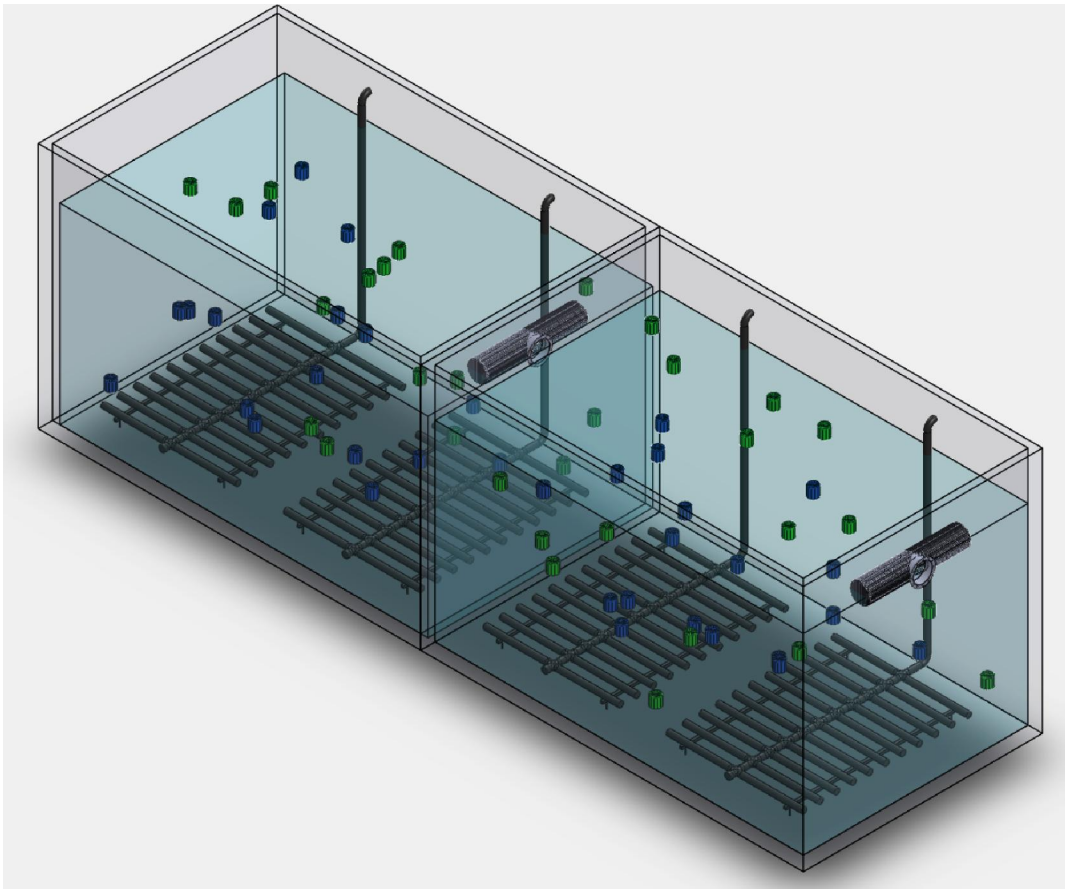
הראשון שם ההרחקה מגיעה לכדי $4.3 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{d}$ (מ"ק ריאקטור). גם באירועים חריגים בריכוזי כניסה של 15,000 מג"ל COD המלווים בספיקות גבוהות נצפים קצבי הרחקה המגיעים לערכים גבוהים של $8.2 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{d}$ תוך עמידה בערכי היציאה הנדרשים.

יתרון נוסף של מערכת ה- AGAR[®] הינו בייצור כמויות נמוכות יחסית של בוצה עודפת לפינוי. דבר הנובע ממקדם תנובת תאים נצפה נמוך ($<0.3 \text{ grVSS/grCOD}$), בפועל מקדם התנובה הנצפה שהתקבל בשנה האחרונה נמוך בסדר גודל מהצפוי. לנתון זה יש משמעות רבה מבחינה סביבתית ומבחינת עלויות הטיפול בבוצה מכיוון שבוצה זו מועברת להמשך טיפול ברמת חובב.

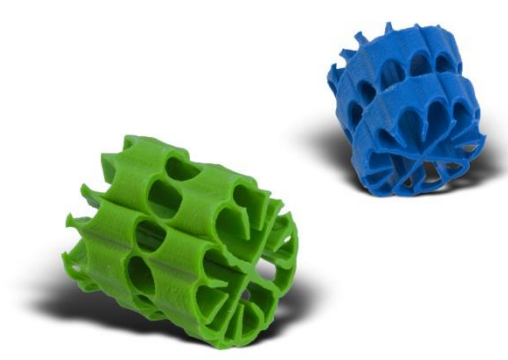
בתכנון המערכת הביולוגית נלקחו בחשבון, לדרישת מפעל טבע, מקדמי בטחון על מנת לעמוד בערכי כניסה גבוהים ולאפשר יכולת ויסות טובה גם בעומסים קיצוניים. באיור 5 ניתן לראות כי יכולת הרחקה החומר האורגאני ביחס לעומס החומר האורגאני הנכנס גבוהה ביותר ועומדת על 83% בממוצע. המערכת שומרת על אחוזי הרחקה גבוהים כמעט ללא תלות בריכוזים הנכנסים. איור 6 מציג את ריכוזי ה-COD הנכנס למתקן בממוצע של 5,000 מג"ל COD לאורך כל תקופת הדיגום. ריכוזי ה-COD ביציאה נמוכים מדרישות היציאה (מתחת ל-2,000 מג"ל). ריכוז המוצקים המרחפים נמוך מהדרישה ביציאה של 300 מג"ל. עמידה בריכוזי היציאה גם בתנאי כניסה קיצוניים נובעת מהתאמת הטכנולוגיה לאופי השפכים בשילוב עם תכנון שמרני.

לאורך שנת ההפעלה הראשונה בטבע י-ם המערכת הוכיחה עמידות לסביבה משתנה ותנאים קיצוניים תוך שמירה על איכות קולחים נדרשת יציבה.

איור 1: ריאקטור AGAR® בשני שלבים



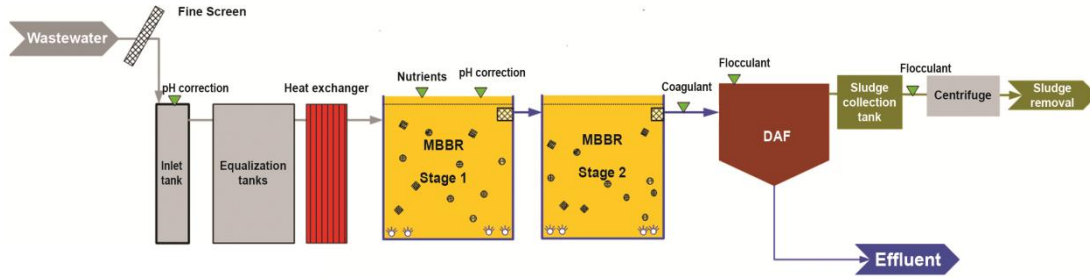
איור 2: נשאי ביומסה תוצרת אקוויז



איור 3: נשא ביומסה מאוקלם עם שכבת ביופילם פעילה



איור 4: סכמת תהליך הטיפול במתקן טבע ירושלים



איור 5: קצב COD המורחק בתהליך הטיפול אל מול קצב העמסת COD הנכנס למתקן

