

תהליך טיפול בשפכים המבוסס על תהליך BARDENPHO חמישה שלבי משולב בריאקטור ביולוגי עם נשאי ביו-מסה מקובעת ועיכול אנוקסי-אירובי של הבוצה

אינג' רן ברז'יק

מבוא

היישובים באיזור גבעת ברנר, בו לא קיים כיום טיפול כלשהו בשפכים ביתיים, נדרשים לטפל בשפכים לאיכויות שיאפשרו השקיה חקלאית. ספיקת התכן למתקן החדש המתוכנן לקום באתר היא 6,000 מק"י. המתקן מתוכנן להרחיק חומר אורגני ונוטריינטים לאיכות השקיה.

המתקן המוקם כולל מערך טיפולי קדם, בריכת ויסות מאווררת, טיפול ביולוגי באמצעות ביו-מסה מקובעת של חברת "אקוויז" (ריאקטור Attached Growth - AGAR® Airlift Reactor) בתהליך רב שלבי הכולל סילוק זרחן ביולוגי, ניטריפיקציה ודה-ניטריפיקציה, הצללה במשקעים שניוניים, סינון וייצוב בוצה אירובי.

במתקן מיושמת טכנולוגיה חדשנית שמתבססת על תהליך BARDENPHO חמישה שלבי, משולב בריאקטור ביולוגי עם נשאי ביו-מסה מקובעת. זו הפעם הראשונה שתהליך מסוג זה מיושם בישראל, כאשר יתרונותיו כוללים הרחקה יעילה של חומר אורגני, חנקן וזרחן, וזאת תוך שמירה על פשטות תפעולית, זמני שהייה קצרים ותנובה נמוכה של בוצה. התהליך מתאים במיוחד לטיפול בשפכים עם יחס נמוך של C/N, כאשר קיימת דרישה לאיכות קולחים גבוהה מבחינת חנקן וזרחן. פן חדשני נוסף במט"ש גבעת ברנר כולל עיכול אנוקסי-אירובי של הבוצה המיוצרת, דבר המתבטא בצמצום ניכר של עומס החנקן על תהליך הטיפול בשפכים וחיסכון משמעותי באנרגיה לאוורור. גם טכנולוגיה זו מתאימה ביותר לטיפול בבוצת שפכים עם יחס נמוך של C/N.

1. תיאור כללי של מתקן גבעת ברנר

1.1 נתוני תכן של שפכים וקולחים

אפיון השפכים הגולמיים ואיכויות נדרשות של קולחים מפורטים בטבלה 1.

טבלה 1: אפיון השפכים הגולמיים ואיכויות נדרשות של קולחים במט"ש גבעת ברנר

פרמטר	שפכים		קולחים
	יחידות	ערך	
ספיקה ממוצעת	מק"י	ערך	ערך
ספיקה שעתית מקס'	מק"ש	400	-
צח"ב כללי	מג"ל	450	10
מוצקים מרחפים	מג"ל	500	10
חנקן כללי	מג"ל	100	15
אמוניה	מג"ל	85	5
זרחן כללי	מג"ל	15	5

1.2 תהליך הטיפול הכולל

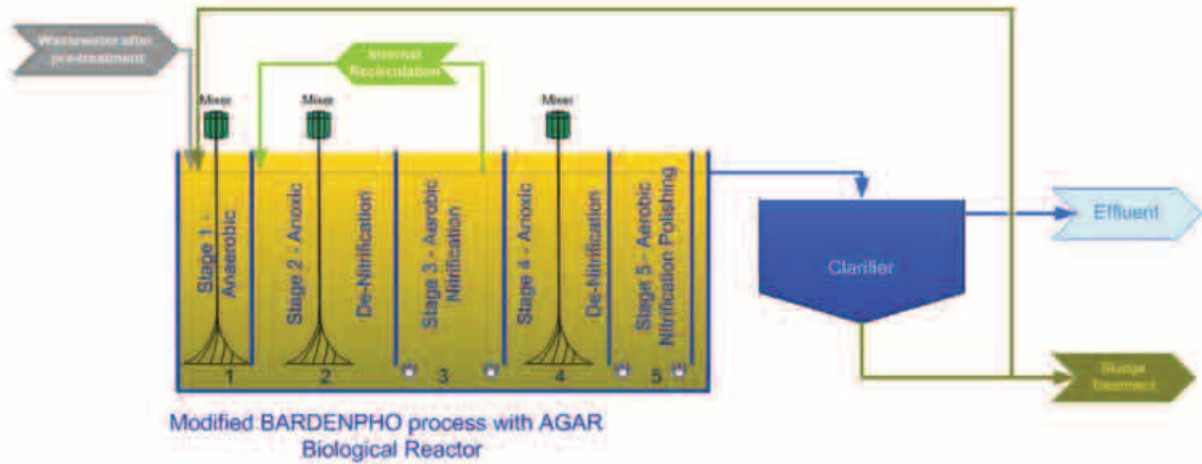
תהליך הטיפול בשפכים כולל: סינון באמצעות מגוב מכני, סילוק גרוסת, אגירה בבריכת ויסות מאווררת, ריאקטורים ביולוגיים מבוססי טכנולוגיית ביו-מסה מקובעת בתהליך (Attached Growth Airlift Reactor AGAR®), הכוללים סילוק ביולוגי של זרחן, ניטריפיקציה ודה-ניטריפיקציה, משקע שניוני קונבנציונלי וסינון רב שכבתי.

הטיפול בבוצה כולל: ייצוב והסמכה במעכל אנוקסי-אירובי רב-שלבי, סחיטה במסנן סרט ופינוי לאתר מורשה לייצור בוצה סוג א'. להלן תיאור פרטני של רכיבי התהליך המוצע. תזרים התהליך מתואר באיור 1. בתכנון ההידראולי של המתקן תילקח בחשבון הרחבה עתידית לתפוקה של עד 9000 מק"י, מבחינת קוטר צנרת ותאי חלוקה. מאמר זה מתמקד בתהליך הטיפול הביולוגי החדשני הכולל תהליך BARDENPHO משולב בנשאי ביו-מסה מקובעת (פרק 2) וטיפול אנוקסי-אירובי בבוצה (פרק 3). לכן שלבי התהליך הכולל אינם מפורטים כאן.

2. תהליך טיפול בשפכים מבוסס על תהליך BARDENPHO חמישה שלבי, משולב בריאקטור ביולוגי עם נשאי ביו-מסה מקובעת

הטיפול הביולוגי במט"ש גבעת ברנר יתבצע באמצעות תהליך ביו-מסה מקובעת על נשאי פלסטיק המתערבלים במים, בשילוב עם בוצה משופעלת. זאת, על מנת להבטיח את יציבות ואמינות הניטריפיקציה לרמה הנדרשת, בזמן שהייה קצר יחסית. התהליך מתוכנן לטפל בצח"ב מומס ובתרכובות חנקן ומאופיין בתנובת בוצה נמוכה וקלה להפרדה. הרחקה ביולוגית של זרחן תתבצע בשלב אנאירובי, בדומה לתהליך BARDENPHO משופר. נכון להיום, לא קיימים מכוני טיפול בשפכים בישראל המיישמים תהליך זה בשילוב נשאי ביו-מסה מקובעת להרחקה משולבת של חנקן וזרחן.

תרשים תהליך הטיפול הביולוגי מובא באיור 2. חמשת שלבי התהליך יהיו: שלב ראשון אנאירובי, שלב שני אנוקסי, שלב שלישי אירובי מלא ב- 60% מנפחו בנשאי ביו-מסה, שלב רביעי אנוקסי (אנדוגני), ושלב חמישי יהיה אירובי ללא נשאי ביו-מסה, לצורך אוורור הנוזל המעורב לפני כניסה למשקעים.



איור 2: תיאור סכמאטי של תהליך הטיפול הביולוגי

2.1 רקע מדעי

תהליך BARDENPHO חמישה שלבי מתוכנן להרחקה ביולוגית משולבת של חומר אורגני, חנקן וזרחן (מקור 1). ההרחקה מתבצעת תוך מעבר הנוזל המעורב בשלבים אנאירובי, אנוקסי ואירובי, כאשר השלב האנוקסי השני (תא 4 באיור 2) מיועד לפוסט-דניטריפיקציה אנדוגנית של הניטרט המיוצר בשלב האירובי על-ידי ניטריפיקציה, כאשר תורם האלקטרונים מגיע מדעיכה אנדוגנית של ביו-מסה. השלב החמישי בתהליך מיועד לנידוף חנקן גזי הנוצר בדניטריפיקציה ולצמצום שחרור הזרחן במשקע השניוני. נוזל מעורב המכיל ניטרט מהשלב האירובי (תא 3) מסוחרר חזרה לשלב האנוקסי הראשון (תא 2). בוצה תסוחרר מתחתית המשקע השניוני אל השלב האנאירובי (תא 1). ייחוד נוסף של המערכת המותקנת בגבעת ברנר מתבטא בשילוב של נושאי ביו-מסה בשלב האירובי להגברת תהליך הניטריפיקציה. על מנת לעודד התרחשות ניטריפיקציה במערכת בוצה משופעלת קלאסית (ללא נושאי ביו-מסה) יש לשמור על גיל בוצה גבוה במיוחד (6 עד 10 ימים). הדבר מתבטא בדרך כלל בהגדלה משמעותית של נפח ריאקטור על מנת לשמור על גיל בוצה זה. במערכת שמשלבת ביו-מסה מרחפת ונושאי ביו-מסה (IFAS – Integrated Fixed Film Activated Sludge), ניתן לשמור על גיל בוצה נמוך להרחקה של חומר אורגני, כאשר ניטריפיקציה מתבצעת על-ידי הביו-מסה המקובעת על הנשאים ולא מושפעת מגיל בוצה (מקור 2).

2.2 נתוני תכן של הריאקטור הביולוגי

הטיפול יתבצע בשני אגני אורור מקבילים (איור 1), המחולקים לחמישה שלבים תהליכיים עוקבים, כמתואר באיור 2. נפח כל אחד מאגני האורור יהיה 1,750 מ"ק (ובסה"כ 3,500 מ"ק). נשמר מקום בתכנון האתר לקו שלישי עבור ספיקה עתידית של 9,000 מ"ק.

שלבי התהליך הביולוגי מפורטים בסעיף 2.1. מעבר הנוזל בין שלב 3 לשלב 4 מתבצע דרך רשתות מיוחדות (Wedge Wires) המונעות מעבר נושאי ביו-מסה משלב לשלב. זמן שהייה ההידראולי הנדרש להשגת איכויות הקולחים הנדרשות הוא כ-14 שעות. השילוב בין ביו-מסה מקובעת, ביו-מסה המסוחררת מן המשקע, וסחרור הניטראטים הפנימי מגדילים את כמות הביו-מסה הפעילה באגן האורור, ומקנים ביטחון בסילוק מירב הצח"ב ותרכובות החנקן. נתוני אגן האורור ונתוני התפעול מסוכמים בטבלאות 2 ו-3 להלן.

2.3 מערכת אורור

האוויר יסופק למתקן במערכת אורור תחתי בבוועות עדינות לצמצום צריכת החשמל. האוויר יסופק משני מפוחים מתוך שלושה, שימוקמו בחדר מפוחים.

ספיקת האוויר תהיה קבועה כל השנה, ולכן ישתנה ריכוז החמצן המומס בריאקטור. עקב השפעת הטמפרטורה על קצבי המטבוליזם מחד, וקבועי מעבר חמצן מאידך, ישתנה ריכוז החמצן המומס בין 2.5-2 מג"ל. בתנאים אלו מובטחת איכות קולחין קבועה, העומדת בדרישות המתוארות לעיל. נתוני תכנון מערכת האורור מפורטים בטבלה 4.

טבלה 2: אפיון השלבים בריאקטור הביולוגי

שלב סוג	1 אנאירובי	2 אנוקסי	3 אירובי	4 אנוקסי	5 אירובי	סה"כ
נפח [מ"ק]	347	1,015	1,365	693	80	3,500
זמן שהייה [שעות]	1.39	4.06	5.46	2.77	0.32	14
מילוי נושאים [%]	0	0	60	0	0	
כמות נושאים [מ"ק]	0.0	0.0	820	0.0	0.0	820

טבלה 3: נתוני סחרור בוצה וסחרור פנימי לסילוק ניטראטים

נתון	יחידות	ערך
סחרור בוצה לכל אגן	מק"ש	100
סחרור ניטראטים (משלב 3 לשלב 2) לכל אגן	מק"ש	350

במט"ש גבעת ברנר ישנו שילוב של תהליך טיפול מבוסס על תהליך BARDENPHO עם נושאי ביו-מסה מקובעת להרחקה מקסימלית של חומר אורגני, חנקן וזרחן תוך שמירה על נפח קטן יחסית של הריאקטור הביולוגי. כאמור, זו הפעם הראשונה שקונפוגורציה זו מיושמת בישראל.

טבלה 4: נתוני מערכת האוורור

יחידות	ערך	נתון
ק"ג ליום	חורף - 3,000; קיץ - 3,600	צריכת חמצן
מג"ל	2.5 - 2	ריכוז חמצן מומס
	24.5%	יעילות מעבר חמצן סטנדרטית
מק"ש	חורף - 4,400; קיץ - 5,000	ספיקת אוויר בתנאים סטנדרטיים

ב. שמירה על pH נייטרלי בגלל רצף ניטרופיקציה-דניטרופיקציה (כידוע, דניטרופיקציה מעלה pH).
ג. צמצום ניכר בריכוזי הניטרט הנוצר מניטרופיקציה של אמוניה המשתחררת במהלך תהליך עיכול בוצה. זאת בגין דניטרופיקציה במהלך השלב האנוקסי של העיכול (ללא אוורור).

לפי תוצאות מחקר של מקור 3, נצפה חיסכון של 42% בצריכת אוויר בעיכול אנוקסי-אירובי יחסית לעיכול אירובי (עבור אותו אחוז סילוק של VSS). כמו כן, ה-pH של תסנין ייבוש בוצה נשאר נייטרלי בעיכול אנוקסי-אירובי, כאשר בעיכול אירובי נצפו ירידות חדות ב-pH.

לפי תוצאות מחקר של מקור 4, ריכוזי הניטרט בתסנין ייבוש בוצה במהלך עיכול אנוקסי-אירובי היו נמוכים מ-5 מג"ל. זאת בניגוד לריכוזי ניטרט בתחום שבין 75 ל-100 מג"ל שנצפו במהלך עיכול אירובי בלבד.

עיכול בוצה במט"ש גבעת ברנר תוכנן תוך שמירה על העקרונות של עיכול אנוקסי-אירובי.

3.2 נתוני תכן של עיכול אנוקסי-אירובי

בוצה עודפת מתחתית המשקע השניוני (איור 1) תוזרם אל אגן ייצוב בוצה אנוקסי-אירובי, שנועד למנוע מטרדי ריח ולאפשר פינוי של הבוצה המיוצבת לאחר סחיטה לאתר מוסדר לייצור בוצה מסוג א'. אגן הייצוב יתוכנן הידראולית כך שישלול חמישה שלבים עוקבים בזמן שהייה כולל של עשרה ימים. אוויר למעכלים יסופק ממערך המפוחים המשמש את אגני האוורור ויהווה כ-20% מסך תפוקת האוורור.

3. טיפול אנוקסי-אירובי בבוצה

3.1 רקע מדעי

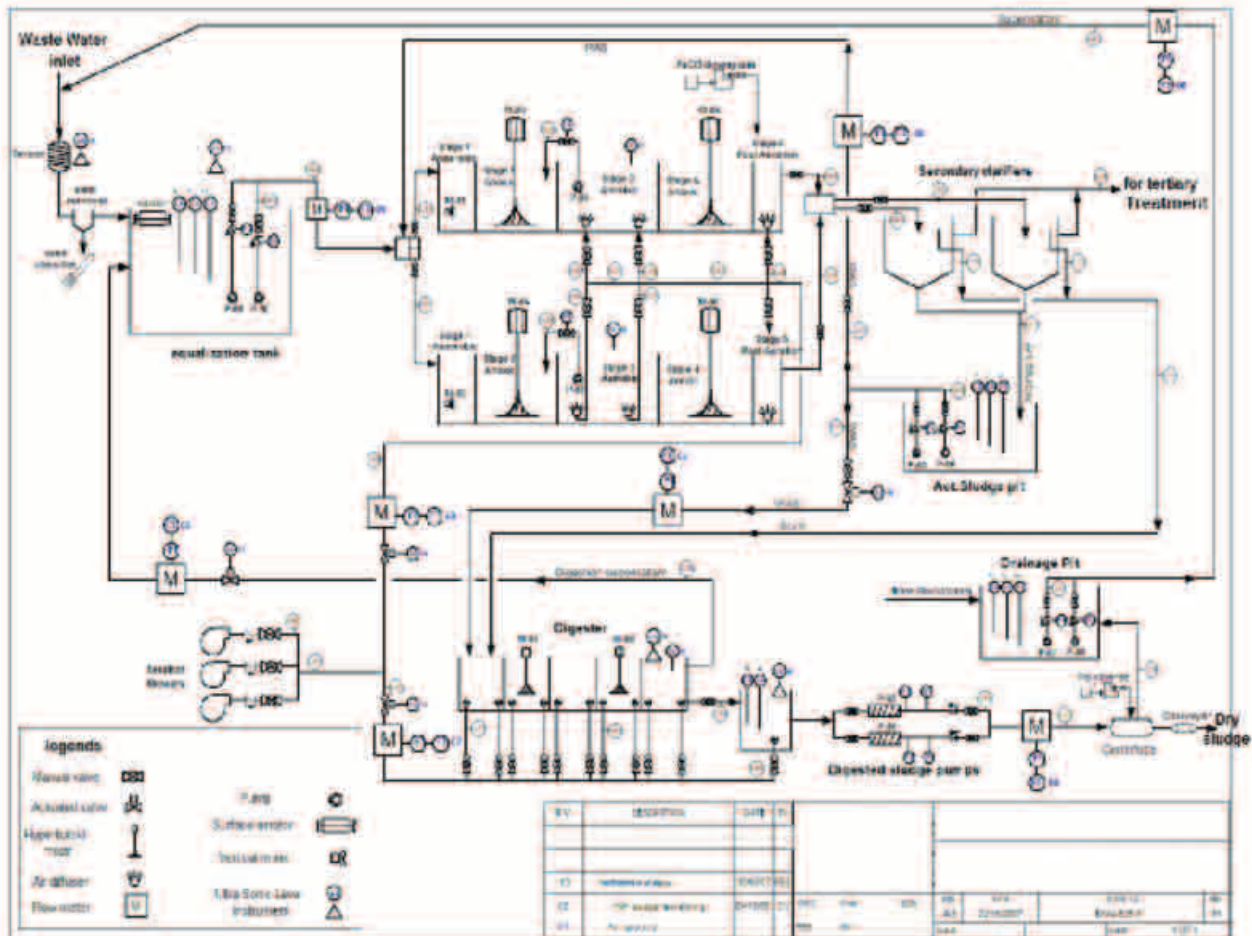
במט"ש גבעת ברנר תיושם טכנולוגיה חדשנית לעיכול בוצה הכוללת מחזורי אוורור (אנוקסי-אירובי), בניגוד לעיכול אירובי, שם האוויר מסופק באופן רציף. על אף שעיכול אירובי של בוצה נפוץ מאוד, יש לו מספר חסרונות עיקריים הכוללים בין השאר (מקורות 3 ו-4):

- עלויות תפעול גבוהות בגין דרישה גבוהה לאוויר.
- ירידה חדה ב-pH לרמות של עד 3.8.
- רמות גבוהות של ניטרט בתסנין ייבוש בוצה, בגלל ניטרופיקציה של האמוניה המשתחררת במהלך תהליך עיכול בוצה.

על מנת לפתור את הבעיות הנ"ל מוצע תהליך עיכול הכולל מחזורי אוורור אנוקסי-אירובי.

יתרונות הקונפיגורציה הנ"ל כוללים:

- עלויות תפעול נמוכות הרבה יותר (פחות אנרגיה לאוורור).



איור 1 - תזרים תהליך הטיפול הכולל

4. סיכום

4.1 אמינות התהליך וצפי תקלות

תהליך טיפול ביולוגי BARDENPHO חמישה שלבי מיושם במקומות רבים בארה"ב והוכח כהתהליך אמיין. שימוש בנשאי ביו-מסה במתקן מאפשר לשמור על גיל בוצה נמוך יחסית, דבר המשפר את תכונות השיקוע של הבוצה. ייחוד נוסף הוא שהתהליך פחות רגיש לשינויים ב-MLSS בריאקטור. תפעול ובקרה שוטפים של התהליך פשוטים יחסית ולרוב אינם מחייבים התערבות מקצועית. תקלות שגרתיות כוללות את הציוד האלקטרו-מכאני (מפוחים, משאבות, בוחשים, בקרים) ופעולות מנע באמצעות תחזוקה שוטפת יפחיתו את פוטנציאל התקלות.

4.2 ישימות

ישימות הטכנולוגיות הנ"ל פשוטה ביותר ותפעולה השוטף פשוט ולא מחייב כח אדם מקצועי. אלמנטים ייחודיים במתקן הטיפול הביולוגי כוללים בוחשים, נשאי פלסטיק ייעודיים, רשתות Wedge Wire ורשת לתמיכת נשאים. כל ריאקטור ביולוגי קיים ניתן לשדרוג לתהליך מבוסס BARDENPHO בשילוב עם ריאקטור ביולוגי עם נשאי ביו-מסה מקובעת. כאמור, הקונפיגורציה הנ"ל מתאימה ביותר לשפכים עם יחס נמוך של C/N כאשר בנוסף קיימת דרישה לרמות נמוכות של חומר אורגני, חנקן וזרחן בקולחים.

מקורות ספרות

1. Metcalf & Eddy, 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, 4th Edition.
2. Johnson TL, McQuarrie JP and Shaw AR. 2004. Integrated Fixed Film Activated Sludge (IFAS): the New Choice for Nitrogen Removal Upgrades in the United States. WEFTEC 2004.
3. Jenkins CJ and Mavinic DS. 1989. Anoxic-Aerobic Digestion of Waste Activated Sludge: Part I – Solids Reduction and Digested Sludge Characteristics. Environmental Technology Letters, 10:355-370.
4. Jenkins CJ and Mavinic DS. 1989. Anoxic-Aerobic Digestion of Waste Activated Sludge: Part II – Supernatant Characteristics, ORP Monitoring Results and Overall Rating System. Environmental Technology Letters, 10:371-384.

תהליך הייצוב יופעל במחזורים אירוביים-אנוקסיים על מנת לצמצם את צריכת האנרגיה ואת עומס החנקן על תהליך הטיפול בשפכים. המחזוריות תתבצע על-ידי הפסקת האוויר והפעלת בוחשים, כך שייוצר פרק זמן אנוקסי של 40%-30%.

טבלה 5 מציגה את נתוני התכן של המעכלים. נתוני התכן הם עבור ספיקה עתידית של 9000 מ"ק/י:

טבלה 5 - נתוני התכן של המעכל האנוקסי-אירובי

נתוני תכנון	יחידות	ערך תכנון
כמות בוצה עודפת בכניסה לעיכול	קג"י	1,730
ריכוז בוצה ביציאה מהמעכל	%	1.5-2
זמן שהייה	ימים	10
נפח המעכל	מ"ק	1,120
סילוק מוצקים נדיפים	%	20-30%
צריכת חשמל מפוחים	KW	5.8
צריכת חשמל בוחשים	KW	1.6
כמות אוויר הנדרשת	מק"ש	450

הערה - צריכת החשמל של המפוחים והבוחשים חושבה בהנחה שהמפוחים עובדים 60% מהזמן (במהלך השלב האירובי) והבוחשים עובדים 40% מהזמן (במהלך השלב האנוקסי).

*** שלבים נוספים של טיפול בבוצה יכללו:

- הסמכת בוצה** - תתבצע באגן ייצוב הבוצה, על-ידי הפסקת הבוחשים בתום פרק הזמן האנוקסי, וריקון התצליל מן המקטע העליון של האגן חזרה אל ראש התהליך הביולוגי. הסמכת הבוצה צפויה להגדיל את ריכוז המוצקים מ-0.7% לעד - 2%.
 - שיקוע כימי של זרחן** - על מנת להבטיח סילוק עומס זרחן כנדרש לעמידה באיכות הקולחין, יבוצע מינון קואגולנט לאגן ייצוב הבוצה. צריכת הקואגולנט צפויה להיות נמוכה עקב שחרור חלקי בלבד של זרחן בתהליך הייצוב האירובי.
 - מאיך, שיקוע כימי של הזרחן חזרה לבוצה** ימנע את שחרורו חזרה לתהליך במי הנטל, ויבטיח עמידה ביעדי הקולחין.
 - ייבוש בוצה** - הבוצה תיובש על-ידי מתקן ייבוש בוצה מסוג Belt Press כאשר התסנין יוזרם בחזרה לבריכת הוויסות.
- הבוצה היבשה תפונה לאתרי קומפוסטציה.

BEAMD 2008

אתיר

פיתוח תוכנה להנדסה בע"מ
הרליה סולנובסקי 33, תל אביב
טלפון: 03-6480129
www.atirsoft.com

חדש במהדורה:

חישוב חתך משתנה; חישוב מדויק של שקיעות בחתך סדוק;
פרוט זיון לפי כללי משרד קבועים;
סידור אוטומטי של הקורות בגיליונות
... ועוד שימושים רבים