

סמננו : 9468 א.כ.מ

תאריך : 22.08.13

אל : אברום בן יוסף – מ.מ. סמנכ"ל להנדסה וטכנולוגיה

הנדון : דוח מסכם – פיילוט כיסוי צף מסוג Hexa cover במאגר זוהר ב', שפד"ן

1. מצ"ב דוח מסכם לניסוי שנערך במאגר זוהר ב' לבדיקת כיסוי צף מסוג Hexa cover. הניסוי נמשך כשנה והסתיים בחודש יולי 2013.

בברכה,

אפרים פרקש
מהנדס איכות מים מרחבי

העתק :

אריה אמסלם - מנהל מרחב הדרום
ישראל יעקב - מנהל יא"מ נגב צפוני
אילן חמו - מ.מ. מהנדס מרחב הדרום
ציון מהצרי - מרחב הדרום
יורי קספרוק - מרחב הדרום
שירי רבינוביץ - מרחב הדרום
אדי פרידמן - מרחב הדרום
אלון דנדקר - יא"מ נגב צפוני
אייל בן דוד - מרחב הדרום
עודד אורגד - מרחב הדרום
זאב רונן - מצויינות בעסקים
תיק

פיילוט כיסוי צף מודולארי מסוג הקסקאוור (Hexa Cover) במאגר זוהר ב', שפד"ן – דו"ח מסכם

1. כללי

מאגר זוהר ב' הינו מאגר מי שפד"ן בנפח 10,000 מ"ק, שטח פני מים מירבי של 3,500 מ"ר, ועומק של כ- 4.0 מ'. כשאר המאגרים הפתוחים, גם מאגר זה נתון לבעיות של חדירת זיהום סביבתי למים, ובחודשי הקיץ והאביב בהם מתארך זמן חשיפת פני המים לאור השמש, מתגברת מעת לעת פריחת האצות במי המאגר. הימצאות אצות בריכוז גבוה במים המסופקים לצרכנים באזור גורמת לקשיים בתפעול מערכות ההשקיה כתוצאה מסתימות מסננים, ועלולה לגרום בעקבות כך תלונות על איכות המים.

פתרון שהוכח כיעיל במניעת מפגעים אלה הינו כיסוי המאגרים למניעת חשיפת פני המים (לדוגמא, כיסוי מאגר נוגה ב- 2009). עד כה נעשה שימוש ביריעות גמישות לכיסוי מאגרים, אך למרות יעילותו הגבוהה של כיסוי מסוג זה בשיפור איכות המים המסופקים מן המאגר, עלותו הגבוהה והתחזוקה הנדרשת לכיסוי לאחר התקנתו, מקשה על התקדמות בכיסוי מאגרי השפד"ן.

2. בחינת כיסוי מסוג הקסקאוור במסגרת פיילוט במאגר זוהר ב' (שפד"ן)

בניסיון לבחון אמצעי כיסוי יעיל בעלות נמוכה לאורך זמן בהשוואה לכיסוי הצף הקיים בשימוש, נבחר כיסוי צף מודולרי המורכב מיחידות כיסוי עשויות פוליפרופילן בצורת משושים, מסוג הקסקאוור. כיסויים מודולרים בנויים מכמות גדולה של יחידות כיסוי קטנות הצפות על פני מי המאגר, וע"י כך יוצרות שכבה המונעת את חשיפת פני המים של המאגר.

מכיוון שאין חיבור פיזי בין יחידות הכיסוי, יעילות הכיסוי תלויה במבנה יחידות הכיסוי וביכולתן להסתדר בצפיפות על פני מי המאגר, כמו גם בתנאים סביבתיים (רוח, מפלס המאגר). עקב כך, קיים קושי בהשגת כיסוי מלא של פני המים, ולכן כיסוי זה אינו מתאים למאגרי מי שתייה, אך עשוי לתת מענה מספק במניעת המפגעים שתוארו קודם לכן, במאגרים המכילים קולחים ומים להשקיה, כדוגמת מאגרי השפד"ן.

בספטמבר 2010 הוחלט על בחינת כיסוי מודולרי מסוג הקסקאוור כפיילוט במאגר זוהר ב'. הניסוי בוצע במהלך השנים 2011 – 2013, כאשר פריסת הכיסוי התבצעה ב- 29.07.12 (100,000 יחידות הקסקאוור במשקל כולל של כ- 26 טון, תמונה מספר 1). לפני פריסת הכיסוי, רוקן המאגר ובוצע בו ניקוי.

2.1 תכנית הניסוי המקורית כללה שני שלבים בהם תוכנן להתבצע ניטור איכות המים במאגר בתדירות גבוהה:

בשלב ראשון ניטור במשך שנה לפני כיסוי המאגר, כביקורת (יוני 2011 עד יולי 2012).
בשלב שני, לאחר פריסת הכיסוי, ניטור איכות המים במשך שנה נוספת (החל מיולי 2012) לבחינת השפעת הכיסוי על איכות המים. ניטור איכות המים במסגרת הניסוי מתוכנן להימשך עד חודש יולי 2013, אז מתוכנן הניסוי להסתיים.

2.2 המדדים לבחינת הצלחת הניסוי כפי שמפורטים בתכנית שהוגדרה ע"י חברי צוות הפיילוט, מוצגים בטבלה הבאה:

מס'	מרכיב נבחן	משקל (%)	מדד להצלחה
1	איכות מים	50	מעל 3 מג"ל חמצן מומס בעמודת המים
2			מעל 5 דקות עד סתימה במד כושר סינון ידני
3	צמצום התאיידות	30	צמצום ב- 50% לפחות
4	תפקוד פיזי של הכיסוי	15	הסתדרות יחידות הכיסוי ליצירת שכבת כיסוי מלאה על פני המים, ובאופן שתשמור על תפקודה גם תחת שינויי מפלס במאגר. הצגת חוזק מכאני ועמידות בפני בלייה של יחידות הכיסוי
5	היקף אחזקה	5	דרישות אחזקה מועטות (איכותי בלבד)

2.3 מדדי איכות המים שנבחנו לאורך תקופת הניסוי היו :

א. בדיקות שדה : עכירות, ריכוז חמצן מומס, הגבה, טמפ', מוליכות חשמלית, כושר סינון (מד כושר סינון ידני).

ב. במעבדה : ריכוז חומר מרחף, ספירת אצות וזואופלנקטון, ריכוז כלורופיל, ספירת חיידקים כללית.

תדירות ביצוע הבדיקות הייתה אחת לשבועיים, פרט למדידת כושר סינון אשר בוצעה בתדירות של פעם בשבוע בחלק גדול מהזמן לאורך הניסוי (ולא פחות מפעם בשבועיים).

2.4 התפקוד הפיזי של הכיסוי נבחן וויזואלית לאורך תקופת הניסוי, להערכת עמידתו במדדים שהוגדרו.

תמונה 1: פריסת הכיסוי ע"י ריקון יחידות הכיסוי מתוך משאית, ישירות למי המאגר (29.07.12).
יחידות הכיסוי מסתדרות באופן עצמאי ליצירת שכבת כיסוי על פני המאגר :



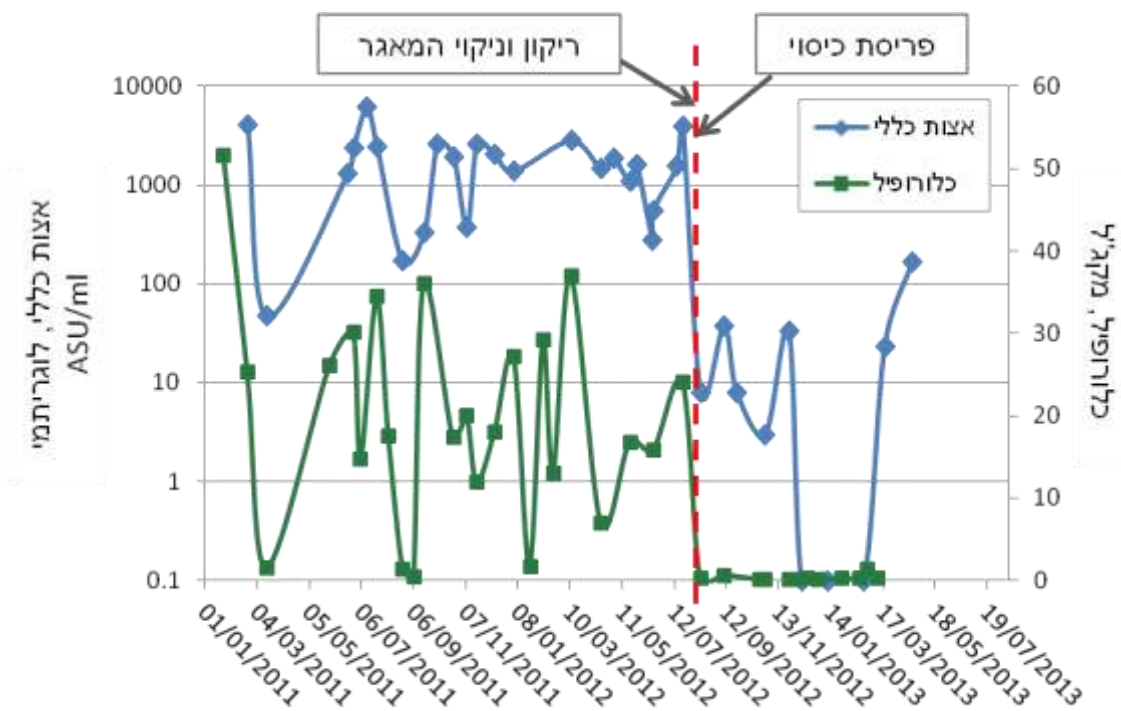
3. תוצאות הניסוי

3.1 השפעת כיסוי הקסקאוור על איכות המים במאגר :

לאורך תקופת הניסוי נבחנו מספר מדדי איכות מים, במטרה לבחון את השפעת הכיסוי על איכות המים במאגר. הערכת הצלחת הניסוי מבחינת איכות המים (טבלה בסעיף 2.2) כוונה לבחינת יכולת הכיסוי לשמור על קיום תנאים אירוביים במי המאגר (ריכוז חמצן מומס), ומניעת היווצרות פוטנציאל לסתימות מסננים (כושר סינון תקין), המושפע בעיקר מהתפתחות מוגברת של אצות במי המאגר. התוצאות המוצגות בתרשימים הבאים מכילות נתונים עד לחודש מאי 2013, בהתאם לזמינותם במערכת בעת עריכת מסמך זה.

3.1.1 מרכיב מרכזי בפוטנציאל מי המאגר לגרימת סתימות מסננים במערכות השקיה, הינו ריכוז האצות במים. נתון זה מיוצג ע"י המדד ASU/ml, המחושב מהשטח המכוסה ע"י כמות האצות הקיימת ב-1 מ"ל דוגמת מים נבדקת. ריכוז האצות אשר נחשב כבעל פוטנציאל גבוה לגרימת סתימות מסננים של מערכות השקיה הינו לפחות ASU/ml 5,000. מדד נוסף המייצג את ריכוז האצות במי המאגר הוא ריכוז הכלורופיל הנמדד במים, היות וחומר זה הינו פיגמנט הקיים באצות בכמויות גדולות. ריכוזי האצות והכלורופיל שנמדדו במאגר זהר ב' לפני פריסת הכיסוי ולאחריו, מוצגים בתרשים מספר 1 (ריכוזי האצות מוצגים בערכים לוגריתמיים).

תרשים 1: ריכוז אצות כללי (יחידות ASU במ"ל) וריכוז כלורופיל (מק"ל) במי מאגר זהר ב' בשנים 2011-2013:



מהנתונים בתרשים 1 עולה כי לפני פריסת הכיסוי נמדדו ריכוזי אצות של בין 2,000 ל-6,000 ASU/ml. לאחר פריסת הכיסוי, חלה ירידה משמעותית של עד 3 סדרי גודל בריכוזי האצות שנמדדו לערכים של בין 3 ל-170 ASU/ml, ובמספר דיגומים אף התקבלה תוצאה 0 בדגימות שנלקחו. נתון זה מגובה גם בירידה דומה בריכוזי

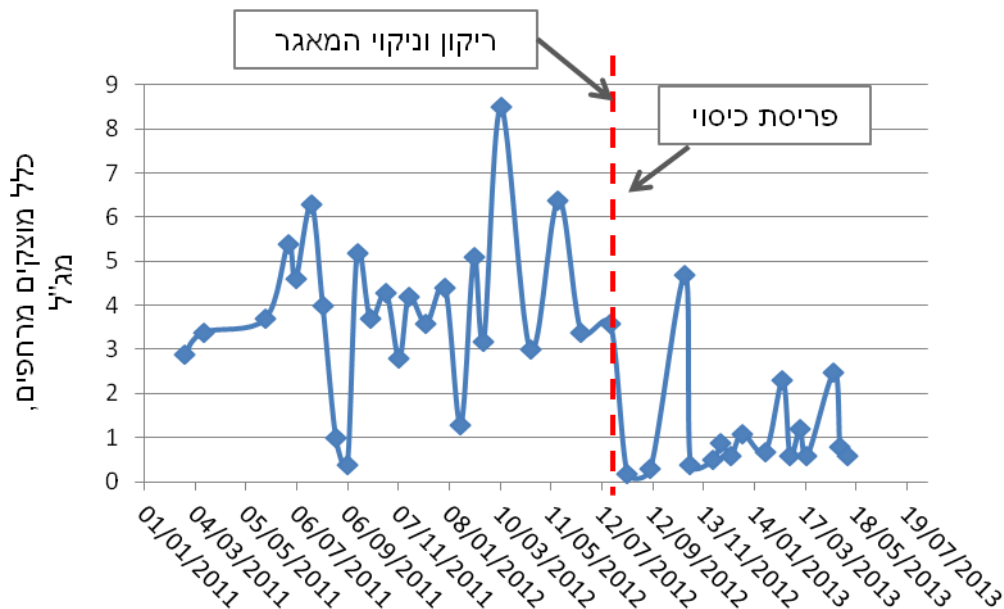
הכלורופיל שנמדדו במי המאגר לפני ולאחר פריסת הכיסוי: בזמן בו המאגר היה חשוף, נעו ריכוזי הכלורופיל רוב הזמן בטווח של בין 10 ל- 30 מק"ל, ולאחר כיסוי המאגר חלה ירידה של שלושה סדרי גודל בריכוזי הכלורופיל שנמדדו, עד לריכוז מזערי בטווח של בין 0.1 ל- 0.3 מק"ל.

תופעת התפתחות האצות במאגר חשוף מתגברת בד"כ בחודשי האביב והקיץ עקב התארכות משך הזמן בו חשופים פני המים לאור השמש, ומהנתונים ניתן לראות בבירור כי לאחר פריסת הכיסוי, גם בתחילת עונה זו (חודשים מרץ-אפריל 2013), ריכוז האצות היה מזערי בהשוואה לעונה המקבילה לפני פריסת הכיסוי.

פוטנציאל המים לגרימת סתימות מסננים נמדד גם באמצעות מד כושר סינון ידני. בכל הבדיקות שבוצעו במי המאגר לאחר התקנת הכיסוי, התקבל כושר סינון תקין של מעל 10 דקות, אשר מצביע על איכות מים גבוהה, וללא אצות בריכוז בעייתי. זאת לעומת סתימת המכשיר לאחר מספר שניות בעת אירועי פריחת אצות במאגר, אשר התרחשו בתדירות גבוהה במאגר (כאחת לשבועיים) בתקופה שלפני פריסת הכיסוי, בעונות החמות.

נתון נוסף המצביע על כמות האצות הקיימת במי המאגר הוא ריכוז כלל המוצקים המרחפים, אשר האצות מהוות חלק משמעותי בהם. תרשים מספר 2 מציג את ריכוזי המוצקים המרחפים אשר נמדדו במאגר זהר ב' בין השנים 2011 ל- 2013:

תרשים 2: ריכוז חומר מוצק מרחף כללי (105 מ"ג, מ"ל) במי מאגר זהר ב' בשנים 2011-2013

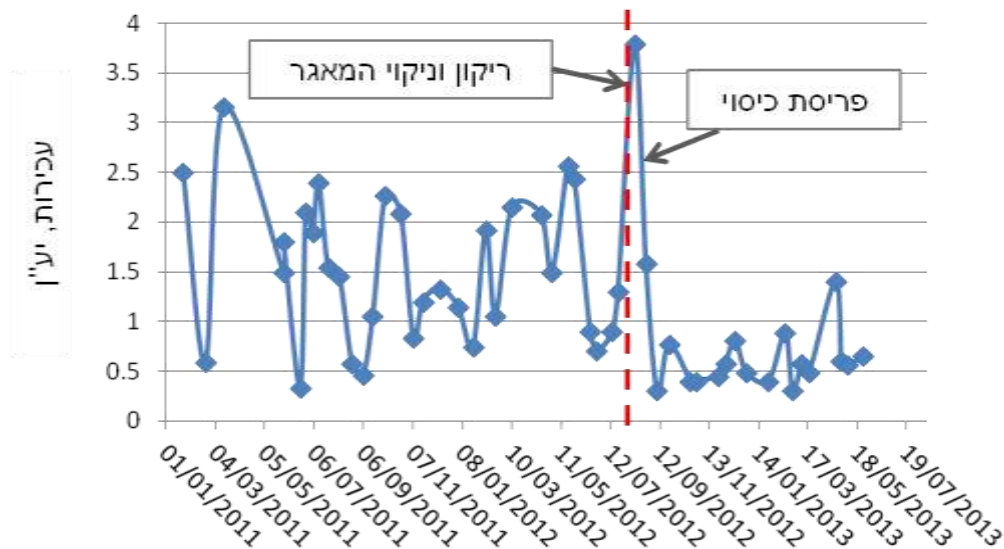


הנתונים המוצגים בתרשים תואמים את התופעה שזוהתה קודם לכן, וניתן לראות בבירור כי לאחר כיסוי המאגר חלה ירידה משמעותית בריכוז החומר המוצק המרחף שנמדד במאגר, מריכוז של בין 3 עד 6 מ"ג/ל במשך רוב התקופה שלפני הכיסוי (ממוצע 1.8), לריכוז של סביב 0.7 מ"ג/ל במשך רוב התקופה לאחר הכיסוי (ממוצע 0.8).

3.1.2 ריכוזי האצות והמוצקים המרחפים במי המאגר משפיעים ישירות על פוטנציאל המים לגרימת סתימות מסננים במערכות השקיה באזור. פוטנציאל זה ניתן להערכה גם ע"י בחינת עכירות המים.
 נתוני העכירות (יע"ן) אשר נמדדו במאגר זהר ב' לאורך תקופת הניסוי מוצגים בתרשים מספר 3.

מהנתונים ניתן לראות כי לפני פריסת הכיסוי במאגר נעו ערכי העכירות רוב הזמן בטווח שבין 1.0 ל- 2.5 יע"ן (ערך ממוצע 1.5 יע"ן). בשתי המדידות שבוצעו במאגר מייד לאחר פריסת הכיסוי (12 ו- 26 באוגוסט 2012) התקבלו ערכי עכירות גבוהים של 3.8 ו- 1.6 יע"ן, אך בתקופה שלאחר מכן ירדו משמעותית ערכי העכירות שנמדדו בהשוואה לתקופה שלפני הכיסוי, ונעו רוב הזמן בטווח שבין 0.4 ל- 0.8 יע"ן (ערך ממוצע 0.6 יע"ן), עובדה המצביעה על שיפור ניכר באיכות המים במאגר לאחר פריסת הכיסוי.

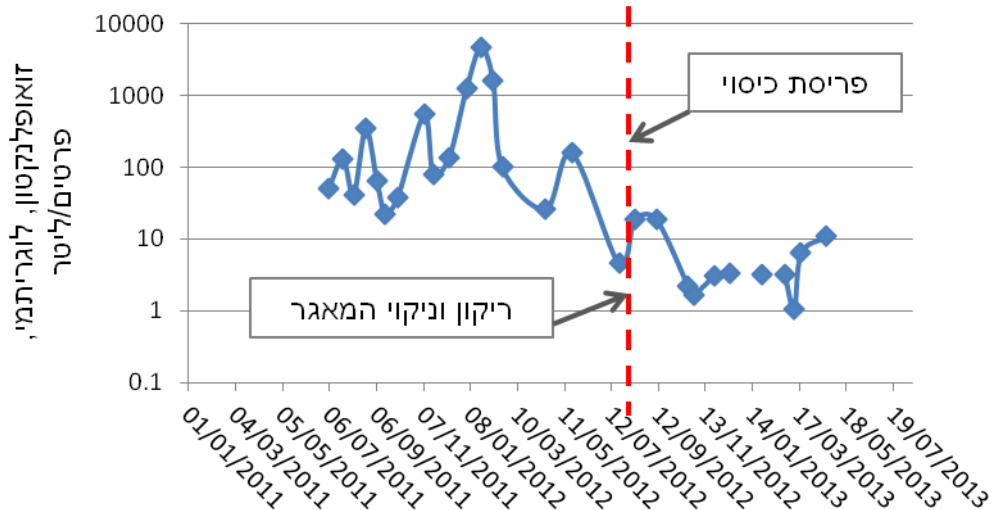
תרשים 3: ערכי עכירות (יע"ן) במי מאגר זהר ב' בשנים 2011-2013:



3.1.3 גורם נוסף העשוי להימצא במי מאגרים חשופים אשר מהווה פוטנציאל לסתימת מסננים במערכות השקיה הינו זואופלנקטון, אשר נמדד במספר פרטים בליטר. בדומה לריכוז אצות שהוזכר כסף המהווה פוטנציאל לסתימת מסננים, ערך דומה לריכוז זואופלנקטון המהווה פוטנציאל בינוני עד גבוה לסתימת מסנני מערכות השקיה הינו בין 50 ל- 150 פרטים/ליטר (בהתאם לסוגי הזואופלנקטון השונים).
 ריכוזי הזואופלנקטון (ערך לוגריתמי, פרטים/לי') אשר נמדדו במאגר זהר ב' במשך תקופת הניסוי מוצגים בתרשים מספר 4.

בתרשים ניתן לראות כי בתקופה שלפני כיסוי מאגר זהר ב', נמדדו במי המאגר ריכוזי זואופלנקטון הגבוהים בהרבה מהסף המוגדר כמהווה פוטנציאל גבוה לסתימת מסננים, ונעו בין מספר עשרות למספר מאות פרטים/לי' במשך רוב התקופה, עם ערך ממוצע של כ- 600 פרטים/לי'. לאחר הכיסוי חלה ירידה משמעותית של כשלושה סדרי גודל בריכוזים שנמדדו, והם נעו בטווח של בין 0 ל- 20 פרטים/לי', עם ערך ממוצע של כ- 4 פרטים/לי'.

תרשים 4: ריכוז זואופלנקטון (פרטים/מ"ל) בשנים 2011-2013:



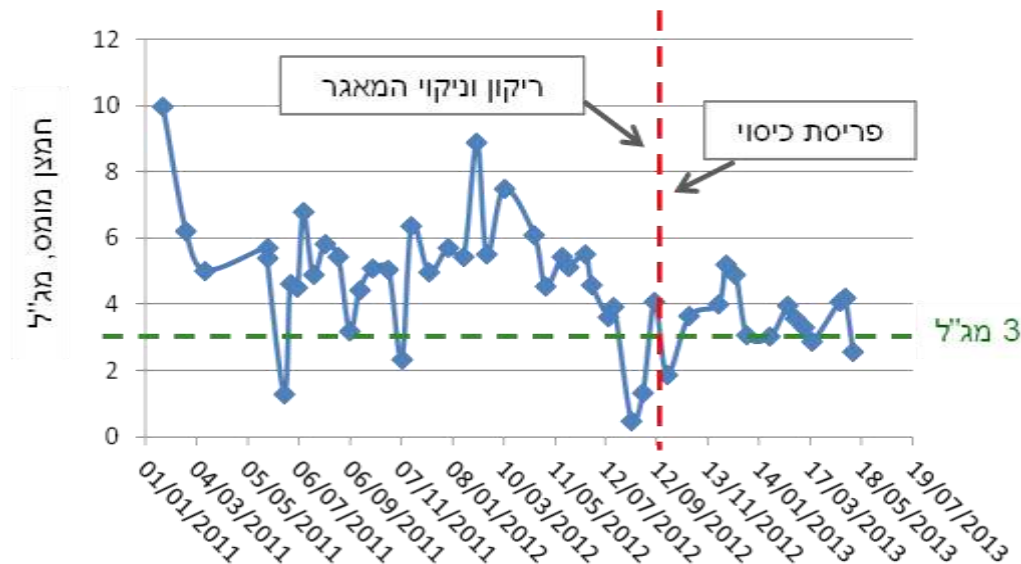
3.1.4 לריכוז החמצן המומס במים חשיבות בשמירה על קיום תנאים אירוביים במי המאגר, המאפשרים פירוק החומר האורגני הקיים במים בנוכחות חמצן, כמו גם קיום אוכלוסיות צורכות חמצן נוספות כגון אצות ודגים. במידה ובמים אין ריכוז חמצן מומס מספק, כלומר מתקיימים תנאים אנ-אירוביים, חמצון החומר האורגני שלא בנוכחות חמצן גורם לפליטת גזים אופייניים לתהליך (מימן גופריתי, H_2S), אשר בעת פליטתם לאטמטספירה עשויים ליצור מפגעי ריח בסביבת המאגר. בנוסף, מימן גופריתי בריכוז גבוה במים המסופקים, גורם לסתימות במערכות ההשקיה, ולדרישת כלור גבוהה במים, המקשה על שמירת ריכוז כלור ברמה הנדרשת לצורך מניעת התפתחות זיהומים בקטריאליים לאורך קווי מערכת האספקה. שמירת תנאים אירוביים במי המאגר (ריכוז חמצן מומס גדול מ-3 מג"ל) מבטיחה כי לא ייווצרו מפגעים אלה.

בתרשים מספר 5 מוצגים ריכוזי החמצן המומס שנמדדו במי המאגר החל מתחילת שנת 2011, כך שמהנתונים המוצגים בתרשים ניתן להשוות את ריכוזי החמצן המומס לאחר כיסוי המאגר (ב- 29.07.12), לריכוזים שנמדדו בתקופה בה המאגר לא היה מכוסה.

מהנתונים בתרשים ניתן לראות כי לאחר פריסת הכיסוי חלה ירידה בריכוז החמצן המומס במי המאגר בהשוואה לריכוזים שנמדדו בו לפני הכיסוי, אך הכיסוי איפשר קיום תנאים אירוביים במים, המבטאים בריכוז חמצן מומס הגדול מ-3 מג"ל. לפני כיסוי המאגר נמדדו ריכוזי חמצן מומס של בין 5 ל-7 מג"ל (למעט חריגות בודדות), ולאחר פריסת הכיסוי התייצב ריכוז החמצן המומס על בין 3 ל-4 (למעט חריגות בודדות).

ריכוז החמצן המומס במי המאגר מושפע בחלקו הגדול מריכוז האצות במים, עקב היות האצות יצרן חמצן בתהליך הפוטוסינתזה המבוצע על ידן במשך היום. מסיבה זו ניתן להסביר את הירידה בריכוז החמצן המומס לאחר כיסוי המאגר, בירידה המשמעותית שנצפתה בריכוז האצות במי המאגר לאחר כיסוי.

תרשים 5: ריכוז חמצן מומס (מג"ל) במי מאגר זהר ב' בשנים 2011-2013:

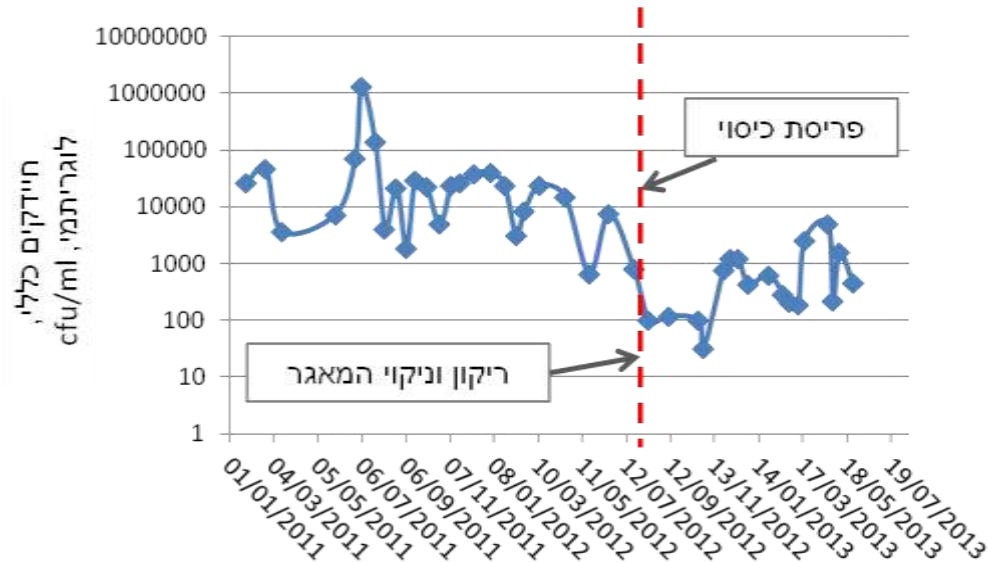


3.1.5 מי מאגרים חשופים מאפשרים בין השאר קיום אוכלוסיות חיידקים בריכוזים גבוהים. מקורם של חיידקים אלה בהגעת עופות למי המאגר, וחשיפת פני המים לאוויר החופשי. פני המים החשופים מהווים מקור משיכה לעופות הניזונים מדגים ובעלי חיים נוספים המתקיימים במקווי מים, ובעת שהייתם במאגר ובקרבתו, גורמים לגידול באוכלוסיית החיידקים במי המאגר כתוצאה מהגעת הפרשות עופות המכילות חיידקים, ומהעברה ישירה של חיידקים מגוף העופות, למי המאגר. בחינת יעילות כיסוי הקסקאוור במאגר זהר ב' כללה גם את השפעתו על מדד זה, המיוצג בניסוי ע"י ריכוז כלל החיידקים במאגר.

ריכוזי החיידקים (cfu/ml) שנמדדו במי המאגר לאורך תקופת הניסוי מוצגים בתרשים מספר 6. מהשוואת ריכוזי החיידקים לפני פריסת הכיסוי ולאחריו, עולה כי כיסוי המאגר גרם לירידה של כ- 3 סדרי גודל בריכוז החיידקים הכללי במי המאגר, מריכוזים שנעו סביב 30,000 מושבות/מ"ל לפני הכיסוי, לריכוז נמוך מ- 1,000 במשך רוב התקופה שלאחר הכיסוי (ריכוז ממוצע 890 מושבות/מ"ל).

עובדה זו ניתן להסביר ביכולת הכיסוי למנוע גישת עופות לפני המים, והקטנת משיכת העופות למאגר כתוצאה מהסתרת פני המים. נוסף על גורמים ישירים שמקורם בכיסוי, במניעת התפתחות חיידקים במי המאגר, הקטנת ריכוז החיידקים נובעת גם מדילול מצע הגידול וחומרי ההזנה במי המאגר, הנדרשים לקיום אוכלוסיות חיידקים. מיעוט האצות במי המאגר לאחר פריסת הכיסוי, מקטין את כמות החומר האורגני הזמין מאוחר יותר לפירוק ואשר מהווה מקור חומרי הזנה לחיידקים במים, כך שפוטנציאל התפתחות חיידקים במים בריכוזים גבוהים לאחר כיסוי המאגר קטן משמעותית.

תרשים 6: ריכוז חיידקים כללי (cfu/ml) במי מאגר זהר ב' בשנים 2011-2013:



3.1.6 השינוי שחל באיכות המים לאחר פריסת הכיסוי במאגר זהר ב' ואשר הוצג בסעיפים הקודמים, בא לידי ביטוי גם בתגובות הצרכנים באזור המאגר. לפני פריסת הכיסוי סבלו צרכנים אלה לעתים תכופות מקשיים בתפעול מערכות ההשקיה, אשר נבעו מריכוזי אצות גבוהים במים המסופקים, בעיקר בעונות החמות (מרץ – ספטמבר). במקרים אלה העבירו הצרכנים לחברה תלונות על איכות מים ירודה, אשר הצריכו מענה וטיפול מצד אנשי מחלקת איכות מים. טיפול זה כלל בין השאר הגעה לצרכנים לביצוע בדיקות איכות מים וזיהוי מקור הבעיה. לאחר פריסת הכיסוי דיווחו הצרכנים באזור המאגר על שיפור ניכר באיכות המים המסופקים להם, והביעו שביעות רצון גבוהה מיכולתם להפעיל את מערכות ההשקיה ללא התקלות אשר אפיינו את תפעול המערכות בתקופה שלפני פריסת הכיסוי.

3.1.7 ריכוזי האצות הגבוהים אשר אפיינו את מאגר זהר ב' בתקופה שלפני הכיסוי הצריכו טיפולים תכופים במאגר למניעת התפתחות מוגברת של אצות, בעיקר בעונות החמות (מרץ – ספטמבר). טיפולים אלה כללו בדיקות איכות מים במאגר, ופיזור גופרת נחשת לדיכוי פריחת האצות. טיפולים מסוג זה בוצעו בתדירות ממוצעת של עד 5 פעמים בחודש בעונות החמות בשנים שקדמו לכיסוי המאגר. בתקופה שלאחר פריסת הכיסוי, בהמשך לשיפור שחל באיכות המים אשר בא לידי ביטוי בריכוזי האצות הנמוכים שנמדדו, לא נדרשו כלל טיפולים מסוג זה במאגר.

3.1.8 מרכיב נוסף בטיפול הנהוג במקורות למניעת התפתחות אצות במאגרים פתוחים, הינו אכלוסם בדגים עפ"י המלצות ביולוג המאגרים של החברה. תפקיד הדגים הוא מניעת התפתחות מוגברת של אצות וחלזונות במאגרים. במאגר זהר ב' לא בוצע אכלוס בדגים לאחר פריסת הכיסוי, מתוך הערכה כי מניעת התפתחות אצות במי המאגר ע"י הכיסוי תייתר את הצורך בקיום דגה במאגר. כפי שצויין קודם לכן, התפתחות אצות במאגר נמנעה כמעט לחלוטין ע"י הכיסוי, אך בעת ביצוע סקירה לקרקעית המאגר בתאריך 27.06.13 לאחר שרוקן (כשנה לאחר פריסת הכיסוי), התגלה כי במהלך התקופה בה היה מכוסה התפתחו חלזונות מסוג מגדלון על גבי קרקעית המאגר ללא כל הפרעה.

במהלך הסקירה נצפתה כמות של כ- 100 פרטים במ"ר על גבי שטחים נרחבים בקרקעית המאגר, בגדלים אשר הצביעו על התפתחותם לאורך זמן ממושך.

תמונה 2: כ- 40 פריטי חלזונות מסוג מגדלון על גבי קרקעית המאגר לאחר שרוקן ונוקז, בעת ביצוע סקירה לקרקעית בתאריך 26.06.13:



נוכחות חלזונות במי המאגר מהווה פוטנציאל להתפתחותם לאורך קווי מקורות ומערכות השקיה של צרכנים באזור, עקב העברתם עם המים המסופקים מן המאגר. הגעתם למערכות השקיה עלולה לגרום סתימות מסננים ואביזרים נוספים. ממצאים אלה מחייבים שמירה על אוכלוסיית דגים הניזונים מחלזונות כפי שנצפו, גם במאגר המכוסה בכיסוי הקסקאוור. מאחר וריכוזי החמצן המומס והאצות שנמדדו במאגר תחת כיסוי הקסקאוור נמוכים בהשוואה לאלה הקיימים במאגרים פתוחים נוספים בהם מתוחזקת דרך קבע אוכלוסיית דגים, נדרשת בהמשך לניסוי בחינת יכולת שרידות דגים ייעודיים במאגר זוהר ב' תחת הכיסוי, כך שתימנע התפתחות חלזונות.

3.1.9 מאגרי שפד"ן חשופים מאפשרים הצטברות משקעים על גבי הקרקעית. מקור המשקעים הינו בחלקיקי אבק המגיעים לפני המים מן האוויר, ותוצרי פירוק של הביומסה המתפתחת במאגר הכוללת אצות, דגים, וחיידקים. בניסיון לבדוק את השפעת כיסוי הקסקאוור על הצטברות משקעים על גבי קרקעית המאגר, בוצעה בתאריך 27.06.13 סקירה לקרקעית המאגר, לאחר שרוקן ונוקז לצורך כך. בעת הסקירה נצפתה על גבי קרקעית המאגר שכבה של משקע בוצי בעובי של מ"מ בודדים עד כ- 1.5 ס"מ. כמות משקעים זו הצטברה במשך 11 חודשים, מאז נפרס הכיסוי. מכיוון שסקר מסוג זה אינו מבוצע דרך קבע במאגרי שפד"ן, אין אפשרות להשוות את הכמות שנצפתה לכמות המצטברת במאגר ללא כיסוי, אך נראה כי היא נמוכה במיוחד. זאת בהשוואה למשקעים בעומק של כ- 50 ס"מ שנצפו בעת ניקוי המאגר לפני פריסת הכיסוי, אשר הצטברו בו במשך כ- 5 שנים. כמות המשקעים

הנמוכה שנצפתה במאגר המכוסה עשויה לנבוע הן כתוצאה מחסימת חלק מהאבק המוסע באוויר ע"י יחידות הכיסוי מהן הוא מוסע הלאה מן המאגר, והן כתוצאה מהקטנה משמעותית של כמות הביומסה אשר התקיימה במאגר בשנה בה היה מכוסה, בהשוואה לביומסה אשר התקיימה במאגר לפני שכוסה. הבדל זה נובע מאי אכלוס דגים במאגר המכוסה ועקב כך אי הצטברות ביומסה ומשקעים אורגניים שמקורם בדגים ובהפרשותיהם, ריכוזי אצות מזערניים, ואי שימוש בגופרת נחושת.

תמונה 3: שכבת משקעים של כ- 4 מ"מ בלבד במרכז קרקעית המאגר. יחידות הכיסוי מונחות על גב הקרקעית, לאחר ריקון וניקוז המאגר:



3.2 תפקוד פיזי של הכיסוי :

3.2.1 תפקוד הכיסוי במאגר זהר ב' נבחן וויזואלית לעתים תכופות בתקופה שלאחר פריסתו. לאורך כל תקופה זו נראה כי שכבת הכיסוי מגיבה היטב לשינויי המפלס במאגר, באופן שבו בעת ירידת מפלס והקטנת שטח פני המים, מסתדרות יחידות הכיסוי העודפות על גבי הדופן הפנימית של סוללת המאגר, ובעת עליית המפלס והגדלת שטח פני המים, הן צפות בחזרה תוך הסתדרות מחדש ליצירת שכבת כיסוי אוטמת.

תמונה 4: התייצבות יחידות הכיסוי על גבי הדופן הפנימית של המאגר בעת ירידת מפלס, תוך שמירה על שכבת הכיסוי האוטמת על פני המאגר :



3.2.2 בשכבת הכיסוי נוצרים שני אזורי כיסוי, כפי שניתן לראות בתמונות 5 ו-6 : באזורים בהם מסתדרות יחידות הכיסוי באופן בו הן אינן חופפות כלל האחת לשנייה אלא מונחות אופקית בצורה אחידה על פני המים, נוצר כיסוי מלא של פני המים. באזורים בהם צפות יחידות הכיסוי על פני המים בתפזורת ולא בצורה אופקית מלאה, נוצרת חפיפה מועטה בין יחידות הכיסוי באופן שחלק מדפנות היחידות שקועות במים. בצורה זו מתקבל כיסוי בו קיימים אזורים מועטים בהם פני המים חשופים, כך שבאזורים אלה מתקבל כיסוי לא מלא. עקב חשיפת אחוז קטן מפני המים לאור השמש באזורים אלה והיות חלק מיחידת הכיסוי שקוע במים, מתאפשרת התפתחות אצות מוגבלת על גבי יחידת הכיסוי ובמי המאגר. בשקלול כלל שטח כיסוי ההקסקאוור על פני המים במאגר זהר ב', ניתן להעריך כי ביכולתו של כיסוי מסוג זה לשמור על שטח פני מים מכוסה בשיעור של כ- 95%.

תמונה 5: שני סוגי אזורי כיסוי: הראשון בו יחידות הכיסוי מסודרות בצורה אחידה היוצרת אטימה מלאה של פני המים, ואזור מסוג שני בו היחידות צפות בתפזורת ומאפשרות חשיפה מועטה של פני המים:



תמונה 6: שקיעה חלקית של יחידות הכיסוי באזורים בהם היחידות צפות בתפזורת תוך יצירת חשיפה של שטח קטן מפני המים. בנוסף, מתאפשר צימוח אצות על פני היחידות באזור הטבול במים:



3.2.3 במשך תקופת הניסוי בה היה מותקן כיסוי הקסקאוור במאגר זהר ב', הפגינו יחידות הכיסוי עמידות מלאה בפני בלייה, ולא נתגלו פגמים ביחידות הכיסוי. התגלתה גם עמידות מלאה של יחידות הכיסוי בפני הרוחות ששררו מעל פני המאגר מעת לעת במשך תקופת הניסוי, ולא נצפו יחידות אשר הועפו על ידי הרוח אל מחוץ לשטח פני המים ובמעלה הדופן הפנימית של המאגר.

3.3 בתקופה שלאחר פריסת הכיסוי, לא נדרשו כל פעולות אחזקה לצורך שמירה על תפקוד תקין של הכיסוי.

3.4 מדידת השפעת הכיסוי על התאדות המים מן המאגר לא בוצעה כפי שתוכנן במסגרת ניסוי זה. למרות זאת, בהתאם ליכולת הכיסוי לשמור על מניעת חשיפת פני המים בשיעור מוערך של כ- 95%, ניתן להעריך כי בעקבות כיסוי המאגר חלה הפחתה בכמות המים אשר התאדו ממנו.

4. עלות כיסוי הקסקאוור במאגר זהר ב'

- במסגרת ההכנות לניסוי הפיילוט, בוצעה ע"י מחלקת הנדסה אזרחית הערכת עלות עבור כיסוי מסוג הקסקאוור למאגר זהר ב', ובהמשך הושוותה העלות שחושבה לעלות צפויה עבור כיסוי המאגר בכיסוי צף סטנדרטי.
- מעבר למבנה הכיסוי, נבדלים שני סוגי הכיסוי במאפיינים נוספים הגורמים לכך כי עלות כיסוי מסוג הקסקאוור נמוכה משמעותית מעלות כיסוי סטנדרטי:
- אורך חיים של הכיסוי - לצורך החישוב, נלקח בחשבון אורך חיים של 15 שנה עבור כיסוי סטנדרטי. בפועל, לכיסוי מסוג הקסקאוור, ניתנת אחריות ל- 25 שנה.
 - שטח נדרש לכיסוי - כיסוי צף סטנדרטי מחייב שטח כיסוי גדול יותר בהשוואה לזה הנדרש מכיסוי הקסקאוור, מכיוון שכיסוי סטנדרטי מותקן מהיקף סוללת המאגר באופן כזה שהוא מכסה גם שטח יבש באופן קבוע. כיסוי הקסקאוור מאפשר כיסוי שטח פני המים בלבד כך שסה"כ שטח הכיסוי הנדרש קטן יותר.
 - עבודות נלוות - כיסוי סטנדרטי מחייב ביצוע עבודות הכנה בסוללת המאגר לצורך התקנת הכיסוי, והתקנת מערכת לניקוז תשטיפים המצטברים על גבי צידו החיצוני של הכיסוי. עבודות אלה כלל אינן נדרשות עבור כיסוי מסוג הקסקאוור.
 - אחזקה שוטפת - כיסוי סטנדרטי מחייב ביצוע עבודות אחזקה שוטפת במשך חיי הכיסוי, הכוללות תיקוני היריעה, ניפוח הכיסוי לצורך כניסה לניקוי ותיקוני יריעת איטום קרקעית המאגר, וטיפולים במערכת לניקוז התשטיפים מעל גבי הכיסוי. עבור כיסוי מסוג הקסקאוור, עבודות האחזקה מסתכמות בפינוי חלקי או מלא של יחידות הכיסוי בלבד ובעלות נמוכה בהרבה, לצורך טיפול ביריעת איטום הקרקעית או ניקוי המאגר.
 - משקל כל העלויות הנ"ל לתקופה של 15 שנה בהן יותקן כיסוי הקסקאוור במאגר זהר ב', עולה כי עלויות הכיסוי ואחזקתו נמוכות משמעותית בהשוואה לעלויות עבור כיסוי סטנדרטי במאגר.
- העלות הנמוכה של כיסוי הקסקאוור ואחזקתו במאגר זהר ב' בהשוואה לעלויות אלה עבור כיסוי סטנדרטי, מתקבלת למרות עלות גבוהה יותר למ"ר של כיסוי הקסקאוור בהשוואה לזו של כיסוי סטנדרטי, אך העלות הכוללת הנמוכה משמעותית של כיסוי הקסקאוור מתקבלת כתוצאה משטח כיסוי קטן משמעותית ועלות אחזקה נמוכה עבור כיסוי הקסקאוור, בהשוואה לאלה הנדרשים עבור כיסוי סטנדרטי.

5. מסקנות וסיכום

לצורך הערכת שיעור ההצלחה של כיסוי הקסקאוור לעמוד ביעדים שהוגדרו בתחילת הניסוי לפני פריסת הכיסוי, בוצעה הערכת הצלחה עבור כל מרכיב, עפ"י התוצאות שפורטו עבורו בסעיפים קודמים.

מאחר ובדיקת השפעת הכיסוי על מניעת התאיידות לא בוצעה בפועל, חושבו מחדש משקלי המרכיבים בשיעור ההצלחה הכללי, כך שמרכיב ההתאיידות אינו נכלל בו.

שיעורי ההצלחה המחושבים עבור כל מרכיב ושיעור ההצלחה הכללי של הכיסוי, מפורטים בטבלה הבאה:

מס'	מרכיב נבחן	משקל מרכיב	מדד להצלחה	שיעור הצלחת מרכיב	חישוב משקל המרכיב בשיעור הצלחה כללי
1	איכות מים	35.7%	קיום תנאים אירוביים	85%	30.4%
2		35.7%	כושר סינון תקין	100%	35.7%
3	תפקוד פיזי של הכיסוי	21.4%	הסתדרות יחידות הכיסוי ליצירת שכבת כיסוי מלאה על פני המים, ובאופן שתשמור על תפקודה גם תחת שינויי מפלס במאגר. הצגת חוזק מכאני ועמידות בפני בלייה של יחידות הכיסוי	90%	19.3%
4	היקף אחזקה	7.1%	דרישות אחזקה מועטות	100%	7.1%
סה"כ הצלחה:					92.5%

- מהנתונים המופיעים בטבלה ניתן לראות כי בסיכום כללי, כיסוי הקסקאוור במאגר זהר ב' הצליח לעמוד ביעדים שהוגדרו לו במסגרת הניסוי, בשיעור גבוה של 92.5%.
- לכיסוי הקסקאוור יכולת גבוהה בשיפור איכות מי המאגר כתוצאה ממניעת התפתחות אצות.
- השיפור שחל באיכות המים במאגר לאחר פריסת הכיסוי הורגש באופן מיידי ובתקופה שלאחר מכן אצל הצרכנים באזור, אשר דיווחו על שביעות רצון גבוהה מאיכות המים בעקבות כיסוי המאגר.
- השיפור שחל באיכות המים במאגר לאחר פריסת הכיסוי ביטל באופן מלא את הצורך בביצוע טיפולים במאגר לצורך מניעת התפתחות אצות בו, כגון פיזור גופרת נחושת ואכלוס דגים.
- אי אכלוס דגים במאגר במהלך הניסוי אפשר התפתחות מוגברת של חלזונות מסוג מגדלון על גבי הקרקעית. לצורך מניעת התפתחות חלזונות תחת כיסוי הקסקאוור בעתיד, יידרש אכלוס דגים המיועדים לכך במאגר. שרידות דגים אלה בתנאים הקיימים תחת הכיסוי (ריכוז חמצן מומס נמוך יחסית וזמינות חומרי הזנה כתוצאה מריכוזי אצות נמוכים במיוחד) תיבחן בהמשך.
- כיסוי הקסקאוור הפגין עמידות גבוהה לתנאי הסביבה במהלך הניסוי.
- כיסוי הקסקאוור מאפשר קיום תנאים אירוביים במי המאגר, כשריכוז החמצן המומס הממוצע אשר נמדד במי המאגר המכוסה נשמר ברמה של כ- 3 מג"ל.

- כיסוי הקסקאוור יוצר שכבת כיסוי המכסה לפי הערכה כ- 95% משטח פני המים במאגר. עקב כך, קיימת התפתחות אצות מוגבלת הן במי המאגר והן על גבי שטח יחידות הכיסוי הטבול בחלקו הקטן במים.
- כיסוי הקסקאוור יוצר תנאים המאפשרים קיום דגה בכמות מוגבלת. תנאים אלה באים לידי ביטוי בריכוז נמוך אך מספק של אצות, חומרי הזנה בכמות נדרשת, קיום אוכלוסיית חיידקים נדרשת ומניעת היווצרות רעלנים במים.
- העלות הכוללת המוערכת של כיסוי הקסקאוור ואחזקתו במאגר זהר ב', נמוכה משמעותית בהשוואה לעלות הכוללת של כיסוי סטנדרטי ואחזקתו לתקופה זהה במאגר, ומהווה עפ"י הערכה כ- 35% בלבד מעלות כיסוי סטנדרטי.

ערכו: עודד אורגד

אדי פרידמן

אשר: אפרים פרקש