

לשם כך, יש לנקוט את הפעולות הבאות: לרכז נתונים ממידע קיים וליצור בסיס ידע טקסטואלי נרחב ובסיס ידע רחב לגבי תהליכים המשפיעים על המערכת האקולוגית ולגבי תגובת המערכת האקולוגית לכריית חול ימי, לקבוע קריטריונים לאיכות מים במהלך פעילות כרייה, ולהשלים פערי ידע הנוגעים לאיכות המשקע ולהשפעתו על הסביבה.

ניהול מיטבי של הידע הנאסף

יש להקים גוף שיהיה אחראי על ריכוז הידע, ולנצל את עבודת הכרייה הצפויה במפרץ חיפה כאבן בוחן לאזור כולו. על המהלך להיות מלווה בפרסום קול קורא למחקרים המציעים ניטור ובדיקה של השפעת הכרייה על המערכת האקולוגית, שיתבצעו יחד עם כל כריית חול באזור מסוים, ובמציאת מימון רב-שנתי למחקרים.

לסיכום, לנוכח התנדללות משאב החול הימי, הלחץ הגובר לכריית, והנזקים הפוטנציאליים המשמעותיים, יש מקום לפעילות רבה מצד המאסדר ומצד האקדמיה בהתאם להמלצות המפורטות.

מקורות

[1] ברוקוביץ' ע וסימוביץ' מ (עורכים). 2015. כריית חול ימי בישראל - תמונת מצב, השלכות סביבתיות והמלצות: סיכום והמלצות של ועדת מומחים. תל-אביב: האגודה הישראלית לאקולוגיה ולמדעי הסביבה.

קידום פעולות להפחתת הנזקים הסביבתיים של כריית חול ימי
לפני תחילת העבודות יש לאפיין את אתר הכרייה ולהתאים את שיטת העבודה, מקומה, תזמונה והיקפה לתנאי הסביבה באופן שיצמצם נזקים סביבתיים על פי מודלים והערכות של השפעת הכרייה על הסביבה. נוסף על כך, יש לשלב ניטור נרחב ומחקר בעבודות כרייה קיימות ובכאלה המאושרות לביצוע בעתיד. הכרייה תתבצע רק באזורים דלים במינים ובאזורים פגועים (מזוהמים) ממילא, ולפני תחילתה חובה ליצור רשימת מינים שאין לפגוע בהם בשום מקרה. עוד לפני תחילת העבודה יש לתכנן את הפעולות הנכונות לשיקום ולאישוש של האזור הפגוע.

השלמת פערי הידע הקריטיים לקביעת מדיניות ולצמצום נזקים
התחזיות לגבי ההשפעה הישירה של תהליכי כריית חול ושיקוע (sedimentation) על הסביבה והביולוגיה מאתגרות ביותר, ואף מבוססות במידה רבה על ספקולציות. למרות קיומם של מחקרים ושל סקרים שונים על אורגניזמים ימיים בים התיכון ובמפרץ חיפה, חסר ידע מקיף ומסודר בנושא לאורך החוף מצפון לדרום ומקו החוף אל הים הפתוח.

ועדת המומחים רואה הכרח ביצירת בסיס ידע רחב, המותאם לאזורנו, שיאפשר קבלת מידע ונתונים לשם קביעת מדיניות כוללת, אימוץ כלי מדיניות פרטניים, בחינת פעולות כרייה מתוכננות, ואומדן הנזקים הפוטנציאליים והצגת חלופות מתאימות.

הגנה על צנרת מנזקי קורוזיה באמצעות ציפוי ביולוגי

יורם שוטלנד*, יבגני ברעם, אולג לבאק, ולדימיר פרוכורנקו ואמיר אליעזר

המכללה האקדמית להנדסה ע"ש סמי שמעון
yshotlan@sce.ac.il *

האם ניתן היה למנוע את זיהום מי התהום מתחת לתע"ש ברמת השרון? כיצד ניתן להאט את קצב השיתוך (קורוזיה) במערכת צינורות ישנה ולצמצם את הדליפות ממנה?

צנרת היא חלק אינטגרלי מהסביבה שיצר האדם. הצינורות יכולים להיות חלק מהסביבה העירונית ולהוביל מים או ביוב, הם יכולים להיות חלק מהתעשייה בכלל ומהתעשייה הכימית בפרט ולהוביל לעתים חומרים מסוכנים, וגם חלק מתעשיית הנפט

והגז ולהעביר משאבי אנרגיה יקרים. דליפה בכל אחת ממערכות צינורות אלה היא אירוע בלתי רצוי, מסוכן למדי (נזילה בצנרת תעשייתית) או יקר ומסוכן מאוד לסביבה (נזילה בצנרת של תעשיית הנפט והגז). אחד התהליכים המרכזיים הגורמים לדליפה מצנרת הוא תהליך השיתוך.

שיתוך [4] מוגדר כהרס של מתכות או חומרי מבנה אחרים בסביבה אגרסיבית. שיתוך הוא תהליך אלקטרוכימי של חמצון, שבמהלכו המתכת מעבירה אלקטרונים לסביבה ומשנה את הערכיות שלה. כתוצאה משיתוך פוחתים האיכות והחוזק של המתכת עד כדי הריסתה.

השיתוך מתחלק לשתי קטגוריות עיקריות:

א. שיתוך אחיד - המשטח החשוף נפגע כולו משיתוך כאשר הוא נמצא בתוך סביבה של אלקטרוליט נוזלי או אלקטרוליט היברידי של נוזל ואדמה. לשיתוך אחיד מספר תתי-קטגוריות: שיתוך אטמוספרי, שיתוך גלווני, שיתוך בטמפרטורות גבוהות, שיתוך נוזל-מוצק ושיתוך ביולוגי.

ב. שיתוך מקומי - שיתוך שנוצר בחלקים מסוימים של המשטח

של תהליכי השיתוך כמו גם במניעתם. פותחו דרכים רבות ומגוונות למניעת השיתוך על גווניו השונים: פיתוח ציפויים למתכות, שינוי החומר והמרקם של המתכות, הכנסת סגסוגות חדשות, שינוי גרעיני המתכת בעזרת חיטום, הגנה שמלית ועוד. למרות ריבוי השיטות, אף אחת מהן לא מספקת פתרון מוצלח לצנרת קיימת. רעיון אטרקטיבי להגנה על צנרת קיימת יכול להיות שימוש ב"ציפוי ביולוגי" של חיידקים, שיגיעו עם הנוזל הזורם ויצפו את הצינור מבפנים, באופן פעיל. החיידקים ייצרו ביפילם (שכבה ביולוגית) על פני המשטח הפנימי של הצינור, ויגנו על הצינור באופן דומה להגנה שהאוקלוסייה הטבעית של החיידקים שנמצאים במעיים מספקת לצינור המעי.

מחקר לבדיקת השפעת מיני חיידקים על קצב השיתוך במתכות
במסגרת מחקר שנערך במרכז לקורוזיה במכללה האקדמית סמי שמעון, בדקנו את ההשפעה של חיידקים שונים על קצב השיתוך בסוגי מתכת שונים. בשלב הראשון נטבלו מטילי מתכת לפרקי זמן משתנים בתמיסה עם ריכוז חיידקים גבוה. קצב השיתוך נמדד לאחר זמני הדגרה שונים של המתכות עם החיידקים. **איור 1** מראה את השתנות קצב השיתוך במהלך ימי הניסוי. מהאיור ניתן לראות שקצב השיתוך המתפתח יורד בדוגמאות שמכילות חיידקים מהסוגים שהשתמשו בהם. ההבדלים הגדולים ניכרים לאחר 25 ימים מתחילת הניסוי. מהאיור ניתן לראות שקצב השיתוך בדוגמה ללא חיידקים (קו ירוק) גבוה פי חמישה מפלדה שצופתה בחיידקים מסוג *Bacillus thuringiensis* או *Delftia tsuruhatensis* (קו סגול וקו כחול) ופי שלושה מדוגמה שהודגרה עם חיידקי *Staphylococcus aureus* (קו אדום). מטילי פלדה הודגרו עם חיידקים שונים. הם הוצאו לאחר 0,

שחשוף לאלקטרוליט. סוג זה קשה יותר למניעה מאשר שיתוך כללי.

שיתוך ביולוגי (ביוקורוזיה - Microbiologically Influenced Corrosion) [2] הוא סוג של שיתוך אחיד שנגרם בעקבות נוכחות של מיקרואורגניזמים, כגון חיידקים ופטריית, שמאיצים את תהליך השיתוך או גורמים לו להתחיל. שיתוך ביולוגי אובחן כמעט בכל סוגי המתכות, למעט טיטניום וסגסוגות המועשרות בכרומיום. ניקל. הגורמים לשיתוך הביולוגי הם חשיפה למי ים, למי שתייה, למים מזוקקים, לדלקים מזוקקים וטהורים, לכימיקלים תהליכיים, לתוצרי מזון, לקרקעות, לפלזמה, לרוק ולשפכים אנושיים.

מחקר בארה"ב הראה שהנזקים שנגרמים מכלל סוגי השיתוך נאמדים בכ-276 מיליארד דולר בשנה. מחקר דומה בארצות אירופה וביפן הראה שהנזקים שנגרמים עקב שיתוך הם 5%-1 מהתוצר הגולמי של אותן הארצות. האומדן לנזקי שיתוך בשנה אחת בעולם כולו עומד על כ-3.2 טריליון דולר לשנה. על פי דיווחים, שיתוך ביולוגי אחראי לכ-35% מהאבדן הכלכלי שנגרם עקב שיתוך. שיתוך ביולוגי גורם לאבדן הכספי הגבוה ביותר בתעשיית הנפט ובשינוע ובהפצה של מים [2]. הוא ייחודי בכך שהוא יכול להתרחש גם בסביבות שבהן שיתוך "קלסי" לא צפוי להתרחש, כמו למשל בסביבות אל-אווירניות (עניות בחמצן). כמו כן, קצב השיתוך שנגרם עקב נוכחות חיידקים יכול להיות מהיר באופן משמעותי מקצב השיתוך שנגרם בגלל גורמים אחרים. קשה יותר למנוע שיתוך ביולוגי, מכיוון שהוא יכול להיגרם על-ידי מספר רב של זני חיידקים שפוגעים במתכות באמצעות מנגנונים שונים.

כסף ומאמצים רבים הושקעו במהלך השנים בחקר ובהבנה



שכבות הגנה שיורכבו מחיידקים עשויות להפחית באופן משמעותי את היווצרות החורים בצנרת ולהקטין את נזקי הדליפות של מי שתייה, נפט וגז | צילום: John Chiembanhong / Getty Images

תכניות לעתיד

לאור תוצאות המחקר שתואר כאן, נוכל לתכנן בנייה של שכבות הגנה שיורכבו מחיידקים שאינם מזיקים לגוף האדם או לחומרי מבנה הצנרת. שכבת הגנה זו תפחית באופן משמעותי את היווצרות החורים והנקיקים בצנרת כתוצאה מנזקי שיתוך, דבר שיקטין בצורה ניכרת את נזקי הדליפות הן במי שתייה הן בתעשיות הגז והנפט.

מקורות

- [1] פרוכורנקו ו. 2013. השפעת חיידקי *Delftia tsuruhatensis* ו-*Staphylococcus aureus* על מתכות קלות (פרויקט גמר). באר שבע: המכללה האקדמית סמי שמעון.
- [2] Brenda J and Jason SL. 2007. Microbiologically influenced corrosion. Hoboken (NJ): Wiley – Interscience, John Wiley & sons, inc.
- [3] Fuller D and Su P. 2014. The causes and cost of sprinkler corrosion. *FM Global – Reason 3*.
- [4] Nestor P. 2004. Electrochemistry and corrosion science. Boston (MA): Kluwer Academic Publishers.

5 ו-25 ימים, וקצב השיתוך שלהם נבדק בעזרת מכשור מתקדם. לאחר הדגרה של 25 ימים עם חיידקים שונים ירד קצב השיתוך באופן דרמטי.

עד כה נבדקה השפעת חיידקים על שיתוך מתכות בעזרת מטילי מתכת סטנדרטיים הטבולים בתמיסת חיידקים. בשנה האחרונה פיתחנו מערכת המאפשרת לעקוב אחר תהליכי שיתוך המתרחשים בצנרת. אנו מתכננים להתקדם במחקר ולבדוק את השפעת הציפוי החיידקי על מערכת צנרת מורכבת (שמכילה מגוון צינורות במגוון תצורות ופיתולים).

חלק משמעותי בשיתוך ביולוגי מתווך על-ידי חיידקים אל-אווירניים מקבוצת מחזרי הגפריית - SRB. חיידקים אלה משפעלים שיתוך אגרסיבי ומהיר גם בצנרת של מוצרי נפט וגז. השערת העבודה שלנו היא שחיידקים המייצרים שכבת הגנה על פני הצינור, יתפסו את המקום לחיידקי ה-SRB ולא יאפשרו להם לתפוס את פני השטח הפנימיים של הצינור, וכך יספקו הגנה נוספת - גם מפני שיתוך ביולוגי - לצינור. גם השערה זו תיבדק במערכת הניסויית שלנו.

בקצרה

איור 1. השפעת חיידקים על קצב השיתוך של פלדה

