



משרד
הבריאות

כחיים בריאים יותר



משרד האוצר



משרד האנרגיה
www.energy.gov.il



משרד החקלאות
ופיתוח הכפר



רשות המים

ליווי פיילוט להוספת מגנזיום למים מותפלים

דוח התקדמות מס' 1

אוגוסט 2018

IL-127110-R18-010



TAHAL
G R O U P

טופס בקרה לפרסומים – אגף תכנון עקרוני

הלקוח: ועדת ההיגוי להקמת מתקן חלוץ להוספת מגנזיום במים
שם הפרויקט: ליווי פיילוט להוספת מגנזיום למים מותפלים
מס' מבנה:
סוג המסמך: דוח התקדמות מס' 1
מקום הקובץ:

מספר פרסום: IL-127110-R18-010
מהדורה: 1.0
עורך: ד"ר אייל פרייס
מאשר: ירון גפן

תיעוד מהדורות

מהדורה	תאריך	תיאור	מספר קובץ	ערך	אישר
1.0	01/08/2018	דוח התקדמות מס' 1		ד"ר אייל פרייס	ירון גפן

תיעוד האישור

העורך: ד"ר אייל פרייס **חתימה:** _____ **תאריך:** 01/08/2018
המאשר: ירון גפן **חתימה:** _____ **תאריך:** 01/08/2018

לכבוד
חברי ועדת ההיגוי,

א.ג.נ.,

הנדון: ליווי פיילוט להוספת מגנזיום למים מותפלים – דוח התקדמות מס' 1
מס' פרויקט תהל 127110

1. מסמך זה מהווה דוח התקדמות מס' 1 בעבודה שבנדון של הצוות המקצועי, לקראת דיון של ועדת ההיגוי להקמת מתקן חלוץ להוספת מגנזיום במים מותפלים בראשות ד"ר קלינר שיערך ביום 13/08/2018.
2. עיקרי דו"ח ההתקדמות מובאים בפרק מס' **Error! Reference source not found.** של סמך זה.
3. לוח זמנים לשלמת שלב א' מפורט בפרק מס' 4 של מסמך זה.
4. בפרק מס' 5 של מסמך זה מובאת רשימת שאלות מקצועיות שמופנת לחברי ועדת ההיגוי, עבורם נבקש התייחסות הוועדה לצורך קידום העבודה.
5. פרקים מס' 6 ו-7 הם פרקים מקצועיים הסוקרים בפירוט טכנולוגיות להוספת מגנזיום למים מותפלים, וכן, נתוח ריכוזי מגנזיום במקורות המים הטבעיים.
6. נוסח קול קורא הועבר ביום 18/07/2018 לרשות המים ולחברת ענבל (נוסח הקול קורא מצורף בנספח ג). מטרת הקול קורא לפנות לספקים, להציע ולהציג לצוות ההיגוי טכנולוגיות ופתרונות שונים להוספת מגנזיום למים. הוועדה מתבקשת לקדם פרסום הקול קורא.
7. נשמח לקיים עמכם דיון בנושא.

בברכה,

ד"ר אייל פרייס

העתקים
אלי אליאס, עוזי רוזנטל, ירון גפן - תהל

תוכן העניינים

5	מבוא \ רקע	1
5	מטרת העבודה	2
6	שלבי העבודה וסטטוס התקדמות	3
6	מבוא	3.1
6	שלב א'1 – מגנזיום במקורות המים הטבעיים ולאורך המערכת הארצית	3.2
8	שלב א'2 – ניתוח המשמעות לאי-תוספת מגנזיום במתקני ההתפלה	3.3
8	שלב א'3 - ריכוז מגנזיום רצוי בצרכנים, והערכה לריכוז נדרש במתקני ההתפלה	3.4
9	שלב א'4 - מגבלות קיימות במתקני התפלה להוספת מערכות תהליכיות	3.5
9	שלב א'5 - סקירת חלופות טכנולוגיות להוספת מגנזיום למים מותפלים	3.6
10	שלב א'6 – דוח ביניים (-)	3.7
11	לוחות זמנים להשלמת שלב א'	4
12	בקשה להתייחסויות מקצועיות מועדת ההיגוי	5
13	סקירת טכנולוגיות להוספת מגנזיום למים מותפלים	6
13	מבוא	6.1
13	איסוף מידע	6.2
14	מקורות המגנזיום בארץ ובעולם	6.3
16	שיטות להעשרת המים המותפלים במגנזיום	6.4
19	סקירת ריכוזי מגנזיום במקורות המים הטבעיים	7

נספחים

22	נספח א' – מסמך הצעה מקצועית (מתודולוגיה)	
23	נספח ב' - סיכומי דיון בנושא טכנולוגיות להוספת מגנזיום	
24	נספח ג' – הצעה לנוסח קול קורא	

רשימת טבלאות

11	טבלה 1 – לוחות זמנים להשלמת שלב א' בהתאם לשלבי העבודה	
16	טבלה 2 - אנליזת יונים מייצגת של מי הים והתמלחת	
19	טבלה 3 - פילוג ריכוזי מגנזיום וסידן במקורות המים הטבעיים שלאורך המערכת הארצית	

רשימת איורים

7	איור 1 – פירוט שלבי העבודה	
20	איור 2 – פירוט גאוגרפי של ריכוזי מגנזיום ממקורות המים הטבעיים	

1. מבוא \ רקע

כיום צריכת השפירים במדינת ישראל עומדת על כ- 1,500 מלמ"ש (מליון מ"ק לשנה), כאשר מתוכם כ- 600 מלמ"ש מופקים משישה מתקני התפלת מים ים, כדלקמן: חדרה 127 מלמ"ש, שורק 150 מלמ"ש, פלמחים 90 מלמ"ש, אשדוד 100 מלמ"ש, אשקלון 120 מלמ"ש, אילת 3 מלמ"ש. כיום מי ים מותפלים מהווים כ- 40% ממקורות המים השפירים, בעיקר באזור המרכז והנגב הצפוני. עם הגידול הצפוי באוכלוסיה והצמצום ההדרגתי במשקעים (כתוצאה מתופעות גלובליות), צפוי היקף ההתפלה לגדול בהתאמה ועד שנת 2050 צפוי להוות עד כ- 65% ממקורות המים השפירים במדינה (נתונים אלה בהתאם לתוכנית אב למערכת המים הארצית שבהכנה בחברת תהל, עבור רשות המים).

מים מותפלים מכילים כמות מלחים אפסית, זאת בניגוד למים ממקורות טבעיים (מי תהום ומים עיליים). לאחר התפלה המים במתקני ההתפלה, המים עוברים שלב הקשייה ("טיפול משלים") בו מוסיפים למים יוני סידן ויוני ביקרבונט. תקנות בריאות העם (איכותם התברואית של מי שתייה ומתקני מי שתייה), התשע"ג 2013, מגדירות איכות מים נדרשת ביציאה ממתקני ההתפלה בהתאם לריכוזי סידן מומס, ללא התייחסות לריכוז מגנזיום נדרש, שכן, זה מסולק בתהליך ההתפלה.

בהתאם לדרישת משרד הבריאות ובהתאם להוראת שעה – מגנזיום (תיקון התשע"ו), לתקנות בריאות העם לאיכות מי שתייה, הוגדר שתבוצע בחינה של משמעותיות ועלויות הוספת מגנזיום למים מותפלים, במטרה לבחון את העלויות ומידת השימויות של הטכנולוגיות השונות להוספת מגנזיום למים מותפלים. הבחינה תכלול הקמת מתקן חלוץ (פיילוט) באחד או יותר ממתקני ההתפלה, להוספת 20 עד 30 מג"ל (מיליגרם לליטר) מגנזיום חזרה למים המותפלים, כולל הקמת צוות מקצועי בין משרדי שיהיה אחראי לקביעת מתווה מיתקן החלוץ, תכולתו והיקפו, ובכלל זה, מפרט העבודה, השלבים, המתודולוגיה והמדדים המדויקים לבחינה.

מסמך זה מהווה דוח התקדמות מס' 1 בעבודה שבנדון של הצוות המקצועי, לקראת דיון של ועדת ההיגוי להקמת מתקן חלוץ להוספת מגנזיום במים מותפלים בראשות ד"ר קלינר.

2. מטרת העבודה

בחינת הצורך, האמצעים והמשמעותיות להוספת מגנזיום למים מותפלים בישראל, על האדם והסביבה, מנקודת מבט תהליכית, סביבתית, בריאותית וכלכלית.



3. שלבי העבודה וסטטוס התקדמות

3.1 מבוא

מסמך זה מהווה דוח התקדמות מס' 1 של הצוות המקצועי לליווי פיילוט להוספת מגנזיום למים מותפלים, נכון לתאריך 01/08/2018. התקדמות הפרוייקט בהתאם לפגישת התנעה שהתקיימה עם הועדה המקצועית המלווה ביום 15/07/2018.

חברי הצוות המקצועי

ד"ר אייל פרייס, חברת תהל - ראש הצוות.
מר ניסים נדב, חברת תהל - מהנדס התהליך.
פרופ' אילנה בלמקר, חברת תהל - מומחית לבריאות הציבור.
מר שגיא בן סימון, חברת בטא פייננס - יועץ כלכלי.

חברי צוות נוספים

כרמי בן-זקן, חברת תהל - ניתוח מודל זרימת מגנזיום במערכת הארצית.
יגאל קוקושקין, חברת בטא פייננס - יעוץ כלכלי, ראש צוות.
רימון רפית, חברת בטא פייננס - כלכלן.

בהמשך פרק זה מובא דיווח של עיקרי המשימות שבוצעו בחלוקה לשלבי העבודה השונים המוצגים באיור 1. עבור כל שלב מוצג בסוגריים בהערכה אחוז השלמת השלב.

3.2 שלב א'1 – מגנזיום במקורות המים הטבעיים ולאורך המערכת הארצית

מטרת השלב - איסוף מידע בנושא ריכוזי המגנזיום הקיימים כיום (בעידן ההתפלה) במקורות המים הטבעיים ובנקודות מפתח ברשת המים לאחר מיהול עם מים מותפלים. **התקדמות השלב (30%)**.

משימות שבוצעו

בוצע פניה למשרד הבריאות, חברת מקורות, ולשירות ההידרולוגי בבקשה לקבלת נתונים לגבי ריכוזי מגנזיום וסידן במקורות המים הטבעיים ונקודות מפתח ברשת אספקת המים הארצית.

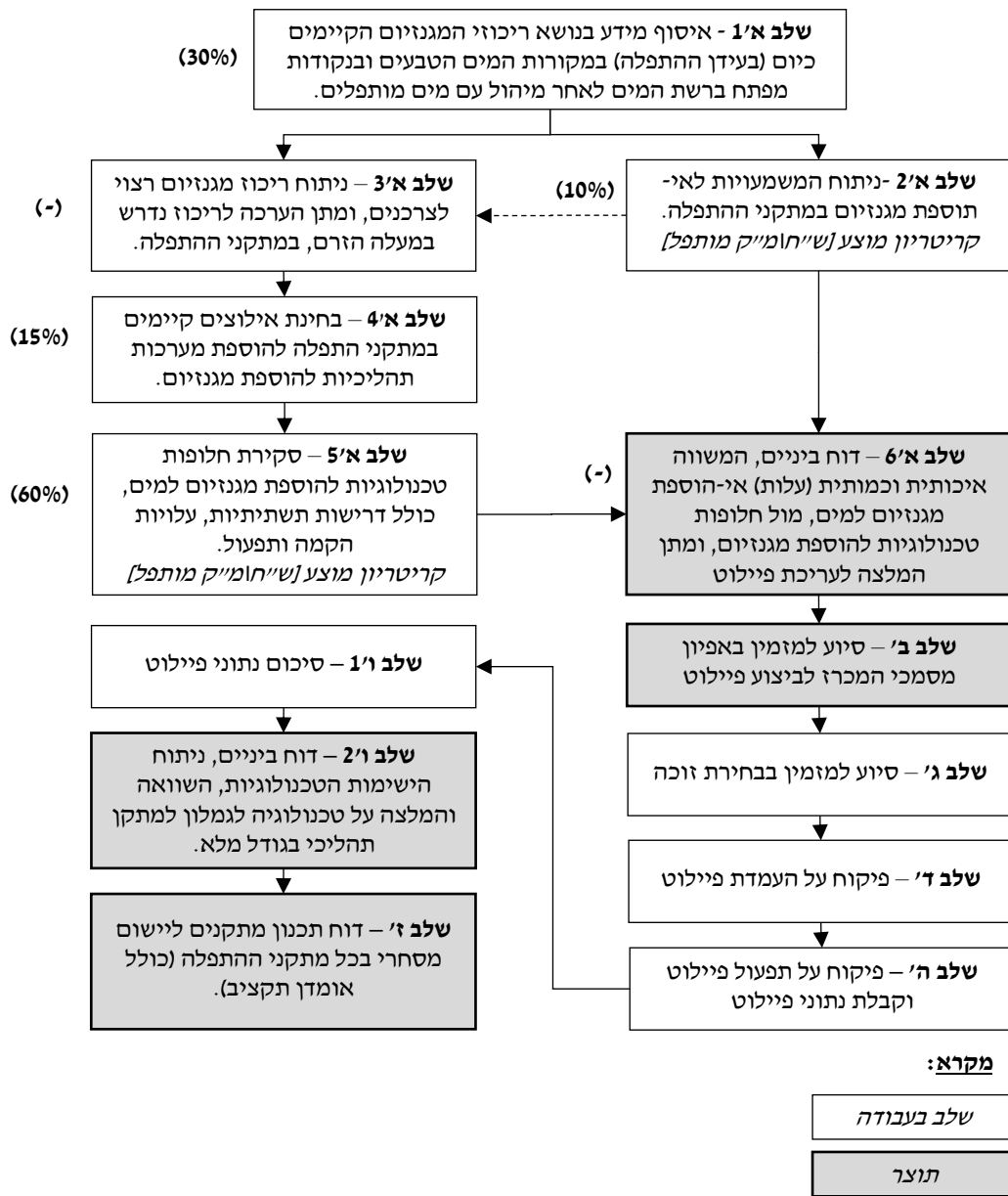
בשלב זה נתקבלו הנתונים הבאים:

- א. משרד הבריאות – נתוני איכות מים ב- 89 קידוחים.
- ב. חברת מקורות, חבל הירדן – נתוני איכות מים בתחנת ספיר (כנרת) ולאורך המוביל הארצי.
- ג. שירות ההידרולוגי – נתוני איכות מים בכ- 500 קידוחים.

הנתונים הנ"ל נותחו באמצעות מערכת מידע גאוגרפית (ממ"ג) לקבלת ריכוזי מגנזיום וסידן מייצגים בפריסה גאוגרפית לאורך מערכת אספקת המים הארצית. פירוט הנתונים מובא בפרק יעודי בהמשך מסמך זה.

מניתוח הנתונים ניתן לומר שבאופן כללי ריכוזי המגנזיום הממוצע במקורות המים הטבעיים שלאורך המערכת הארצית, הוא כ- 30 מג"ל (כ- Mg) וריכוזי הסידן הממוצע הוא כ- 82 מג"ל (כ- Ca). מפילוג גאוגרפי של ריכוזי המגנזיום והסידן מוצגים בטבלה 3.





איור 1 – פירוט שלבי העבודה



משימות עיקריות להשלמת אבן הדרך

א. עדכון מודל הידראולוגי של מערכת אספקת המים הארצית, מודל שפותח בחברת תהל, בהתאם לתוכנית הפיתוח של המערכת הארצית לשנים 2030, 2040, 2050, בהתאם לתוכנית הפיתוח המוצע בעבודה "תוכנית אב לפיתוח המערכת הארצית, טיוטה לדיון", יולי 2018 חברת תהל.

ב. הרצת המודל ההדראולוגי לקבלת תפעול המערכת הארצית, לפי שלבי הפיתוח ותחת תרחישים של שנים שחונות וברוכות. לאחר מכן, שימוש בתוצאות המודל ההדראולוגי כמודל התפשטות הסיכון במערכת במטרה לבחון את כיוול המודל אל מול נתוני סיכון שמדוד במערכת ובערים. לאחר כיוול המודל, בחינת השפעת ריכוזי מגנזיום שונים במתקני ההתפלה (0 מג"ל, 20 מג"ל ו-30 מג"ל) על ריכוזי המגנזיום בנקודות מפתח במערכת אספקת המים הארצית.

3.3 שלב א'2 – ניתוח המשמעויות לאי-תוספת מגנזיום במתקני ההתפלה

מטרת השלב – בחינה של ההשלכות לאי-הוספת מגנזיום למים מותפלים בהיבטים של בריאות הציבור, השפעה על המגזר החקלאי, המגזר התעשייתי, המגזר הביתי והעירוני, מכוני הטיהור. **התקדמות השלב (10%).**

משימות שבוצעו

- א. בניית מאגר של מאמרים שפורסמו בספרות הבין-לאומית והישראלית אשר יהווה הבסיס לכתיבת סקירת ספרות מקיפה על תחלואה ותמותה שניתנות לייחס לחסר מגנזיום במי שתייה, כולל הגדרת קבוצות אוכלוסייה בסיכון ומקורות לצריכת מגנזיום (מיים, מזון, תוספי תזונה).
- ב. פגישה עם פרופ' אבי שביב, מהפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית בטכניון, מומחה להשפעת השקיייה במים מותפלים וקולחים על הקרקע, הצומח ומערכות סביבתיות.

משימות עיקריות להשלמת אבן הדרך

- א. השלמת סקר ספרות בין לאומית וישראלית, בתחום הבריאות.
- ב. עריכת סקר ספרות והמשך פגישות עם מומחים בתחום הסביבה.
- ג. כימות כלכלי של המשמעות לאי-הוספת מגנזיום למים מותפלים.
- ד. בחינה של הספרות הקיימת ואומדנים שנעשו ביחס לעלויות הישירות והעקיפות של תמותה ותחלואה. בחינה של ההתאמות הנדרשות לאומדנים הללו ביחס למדינת ישראל (תמ"ג וכו') וגיבוש התשתית הכלכלית הנדרשת לטובת הסיכום של משימה זו. ככל ונעשו על ידי משרד הבריאות עבודות בנושא זה נבקש לקבל אותן על מנת להתייחס לנקודות והאומדנים המוצגים בעבודות אלו.

3.4 שלב א'3 - ריכוז מגנזיום רצוי בצרכנים, והערכה לריכוז נדרש במתקני ההתפלה

מטרת השלב – גיבוש המלצה לריכוז המגנזיום הרצוי לאספקה לצרכני הקצה, ובהתאמה – ריכוז המגנזיום שנדרש במתקני ההתפלה לעמידה ביעד זה.

שלב זה יושלם עם השלמת המסקנות של א'1 ו- א'2.



3.5 שלב א'4 - מגבלות קיימות במתקני התפלה להוספת מערכות תהליכיות

מטרת השלב – איסוף מידע בנושא מתקני ההתפלה הקיימים, לניתוח היכולות והמגבלות לביצוע מתקני פיילוט במתקני ההתפלה הקיימים בשלב הראשון, ובהמשך למתקנים בגודל מלא. **התקדמות השלב (15%)**

משימות שבוצעו

- א. הועברה רשימת שאלות לאגף ההתפלה ברשות המים עם בקשה למידע בנוגע למתקני ההתפלה הקיימים.
- ב. ריכוז מידע ראשוני בנושא מתקני ההתפלה הקיימים.

משימות עיקריות להשלמת אבן הדרך

- א. איסוף נתונים מאגף התפלה ברשות המים.
- ב. סיורים במתקני ההתפלה, בהתאם לצורך.

3.6 שלב א'5 - סקירת חלופות טכנולוגיות להוספת מגנזיום למים מותפלים

מטרת השלב – סקירת טכנולוגיות שונות להוספת מגנזיום למים מותפלים, כולל דרישות תשתיתיות, עלויות הקמה ותפעול. **התקדמות השלב (60%)**

משימות שבוצעו

א. נוסח קול קורא הועבר ביום 18/07/2018 לרשות המים ולחברת ענבל. מטרת הקול קורא לפנות לספקי טכנולוגיות להוספת מגנזיום למים, במטרה שיוכלו להציג את פתרונות להוספת מגנזיום בפני הצוות המקצועי וחברי הוועדה. **הוועדה מתבקשת לקדם פרסום הקול קורא.**

ב. בוצעו ראיונות עם הגורמים הבאים להצגת פתרונות להוספת מגנזיום למים מותפלים (ראו הרחבה בנושא בסעיף 6 במסמך זה):

- **חברת טכנולוגיות לשימור הסביבה** – חילוץ סלקטיבי של מגנזיום ממי ים באמצעות תהליך סינון בממברנות סלקטיביות.
- **חברת כימיקלים לישראל (כי"ל)** – המסת מגנזיום אוקסיד או מגנזיום הידרוקסיד, שמקורם בתוצרי המפעל.
- **הפקולטה להנדסה כימית הטכניון** – המסת דלומיט לתוספת משולבת של סידן ומגנזיום (כחלופה להמסת קלציט), שמקורו במחצבות בארץ או בחו"ל.
- **חברת דיפוכם עמגל** – המסת אבקת מגנזיום אוקסיד, שמקורו בחו"ל.
- **המכון הגיאולוגי** – שימוש במגנזיום כלוריד, זרם לוואי של מפעלי ים המלח.

ג. בוצע פניה לחברת אינטל קרית גת, שהינם בעלי נסיון בהוספת מגנזיום למים.

מסקנות עיקריות ראשוניות:

א. שימוש במגנזיום כלוריד או בחילוץ סלקטיבי של מגנזיום ממי ים, מלווים בתוספת כלורידים למי המוצר. בהתאם לתקנות בריאות הציבור, ריכוז הכלורידים המותר במתקני ההתפלה הינו בהתאם לערך תפעולי של 20 מג"ל, (למעט מתקן פלמחים 80 מג"ל). הגדלת ריכוזי כלוריד במי המוצר עשויה להשפיע לרעה על איכות מי תהום, איכות הקולחים ואי עמידה בתקנות איכות קולחים, תכניות שיקום של אקוויפר החוף והתכנית להזרמת מים מותפלים לכנרת ומעלה הכנרת. כל ההיבטים האלו יבחנו ולהיות משוקללים במודל הכלכלי כעלויות עקיפות.



ב. המסת מגנזיום אוקסיד או מגנזיום הידרוקסיד מצריכה סביבה חומצית המתקבלת ע"י הוספת חומצה גופריטנית או פחמן דו-חמצני למי המוצר בתהליך הטיפול המשלים.

ג. המסת דולומיט תאפשר החלפת הליך המסת קלצית לתוספת משולבת של מגנזיום וסידן בשלב יחיד. ידרש לבחון האם הדולומיט מסיס יותר או פחות ביחס לקלציט ומה ההשפעה על ריכוזי החומצה \ פחמן דו-חמצני שיידרשו ותיקון pH ביחס למצב הקיים במתקנים. כמו כן, בחינה האם אין מינרלים אחרים בדולומיט העשויים להיות לא רצויים.

ד. המלצה על חלופה מסויימת תדרש לבדיקה כלכלית.

משימות עיקריות להשלמת אבן הדרך

- א. המשך פגישות עם ספקי טכנולוגיות, בכפוף לפרסום הקול הקורא.
- ב. ניתוח טכנו-כלכלי לפתרונות המוצעים בתאום עם הגורמים השונים.
- ג. פניה למחצבות בארץ ובחו"ל לקבלת הצעת מחיר לאספקת דולומיט.
- ד. בניית מודל היתכנות כלכלי בסיס אשר יאפשר:
 - בחינת העלות הישירה של כל אחת מהחלופות הטכנולוגיות שתמצא לנכון על ידי חברי הצוות. המודל הכלכלי יתבסס על הערכות עלות שיוצגו על ידי ספקי הפתרונות בשלב זה והמידע שיתקבל בקול הקורא (ככל שיתקבל). המודל הכלכלי יבנה על מנת לאפשר ניתוחי רגישות בסיסיים ביחס לכמויות המים, עלות ההשקעות ההוניות, עלויות התפעול השוטפות ועלויות ההון המקובלות.
 - הערכת עלויות ההתאמות הנדרשות במתקני התפלה הקיימים עבור כל חלופה.
 - הערכת עלויות עקיפות מחוץ למתקני ההתפלה (עלויות סביבתיות להוספת כלוריד).
- ה. השוואת חלופות וגיבוש המלצות.

3.7 שלב א'6 – זוח ביניים (-)

מטרת השלב - השוואה איכותית וכמותית (עלות) אי-הוספת מגנזיום למים ("עסקים כרגיל"), מול חלופות טכנולוגיות להוספת מגנזיום ומתן המלצה לעריכת פיילוט.

שלב זה יושלם עם השלמת המסקנות של שלבים א'1, א'2, א'3, א'4 ו- א'5.



4. לוחות זמנים להשלמת שלב א'

לוחות זמנים להשלמת שלב א' של העבודה, בהתחשב בחופשות וחגים מפורט בטבלה 1.

טבלה 1 – לוחות זמנים להשלמת שלב א' בהתאם לשלבי העבודה

ראש צוות \ הידראוליקה	כלכלה	תהליך	בריאות	תאריך תחילת שבוע	שבועות עבודה	
הרצת מודל התפשטות מגנזיום במערכת הארצית <u>כתיבת פרק</u> <u>מסכם</u> (א'1, א'3) ליווי הצוות	בניית מודל כלכלי	סקירת טכנולוגיות קיימות (א'5)	סקר ספרות ביני"ל	15/07	שבוע 1	
				22/07	שבוע 2	
				29/07	שבוע 3	
	ליווי הצוות	ליווי הצוות	סקירת נושא חקלאות \ תעשייה \ ביוב סקירת מתקני התפלה קיימים, <u>כתיבת פרק מסכם</u> (א'1, א'2, א'4)	סקר ספרות בארץ, <u>כתיבת פרק</u> <u>מסכם</u> (א'2, א'3)	26/08	שבוע 4
					02/09	שבוע 5
					16/09	שבוע 6
					07/10	שבוע 7
כתיבת דוח מסכם (א'6)	מודל כלכלי <u>כתיבת פרק</u> <u>מסכם</u> (א'6)			14/10	שבוע 8	
				21/10	שבוע 9	
				28/10	שבוע 10	
				04/11	שבוע 11	
השלמות בהתאם לצורך				11/11	שבוע 12	
הגשת דוח מסכם (סיום שלב א') - 18/11/2018						

הערות

- בין התאריכים 09-11/09, ראש השנה.
- בין התאריכים 02/10-23/09, סוכות.



5. בקשה להתייחסויות מקצועיות מועדת ההיגוי

להלן רשימת שאלות המופנות לאנשי המקצוע בועדת ההיגוי, בחלוקה לנושאים מקצועיים. נבקש התייחסותכם בהקדם האפשרי.

איכות מי מוצר

- א. בהמשך לשיחות שלנו עם ספקי מגנזיום, ישנן שיטות להוספת מגנזיום המתלוות בתוספת כלורידים למערכת, בהיקפים של מג"ל בודדים ועד לעשרות מג"ל. בהתאם לתקנות בריאות העם למים מותפלים, ערך הכלורידים התפעולי נקבע כ- 20 מג"ל למים מותפלים (למעט מתקן פלמחים 80 מג"ל). נבקש לקבל הבהרה האם ניתן לסטות מריכוז הכלורידים במים המסופקים ממתקני ההתפלה מעבר לערך התפעולי עקב הוספת מגנזיום, ללא תוספת יוני נתרן, ואם כן, מה הסטייה המקסימלית. אותה שאלה לגבי ריכוזי הבורון.
- ב. כמו כן, האם במסגרת תוספת מגנזיום למים מותפלים, ניתן לבחון סטייה מהמלצות ועדת עדין לגבי ריכוזי הסיידן, האלקליניות, ה-CCPP וה-pH?

משרד הבריאות \ משרד האוצר

- ג. עבור המודל הכלכלי - נבקש לקבל ממשרד הבריאות עבודות המתייחסות לעלויות הישירות והעקיפות של תמותה ותחלואה באופן כללי. המידע ישמש לצורך כימות העלות למשק של תחלואה שמקורה ממחסור במגנזיום במים מותפלים – זאת במידה ונצליח למצוא בספרות קשר ישיר בין השניים.

משרד החקלאות

- ד. נבקש לקבל מאמרים בנושא השפעת העדר מגנזיום על הצומח והקרקע, הריכוזים הדרושים במי ההשקיה לצורך קיום תקין של הגידולים, ועלויות הוספת מגנזיום בדישון כאשר ההשקיה מתבצעת במים מותפלים.

מתקני התפלה

- ה. נבקש לקבל תוכנית העמדה עדכנית בקני"מ 1:250, למתקני ההתפלה הבאים: מעגן מיכאל, חדרה, שורק, פלמחים, אשדוד ואשקלון.
- ו. נבקש לקבל מידע מסכם בנושא שלבי הטיפול במתקני ההתפלה השונים, סכמות תהליך ותרשימי P&ID.
- ז. נבקש לקבל מידע אודות מקור החשמל למתקני ההתפלה הקיימים (מתח עליון, יצור עצמי בגז טבעי).
- ח. נבקש לקבל מידע בנושא פעמון היצור החוזי החודשי של מתקני ההתפלה.
- ט. נבקש לקבל דוחות יצור יומיים במהלך השנה החולפת.
- י. נבקש לקבל מידע בנושא תהליך הוספת הסיידן למים המותפלים בשלב הטיפול המשלים בכל מתקן התפלה.



6. סקירת טכנולוגיות להוספת מגנזיום למים מותפלים

6.1 מבוא

במהלך שנת 2016, הגיע כושר הייצור של מים מותפלים במערכת הארצית ל 50% מהמים השפירים, כאשר מתוך 1,200 מלמ"ש (מיליון מטר מעוקב לשנה) מים שפירים, כ- 580 מלמ"ש הופקו במתקני התפלה ימיים. בהתאם לתוכנית האב, בשנת 2030 יגיע כושר הייצור של מים מותפלים ל 1,100 מלמ"ש.

מים מותפלים, בניגוד למים טבעיים אשר מכילים מגוון מלחים בריכוזים שונים, מכילים ריכוז מלחים נמוך מאד. בהתאם לדרישות רשות המים, ריכוז כלורידים מקסימאלי לא יעלה על 20 מג"ל (מיליגרם לליטר) וריכוז הבורון לא יעלה על 0.4 מג"ל.

בטיפול המשלים מוסיפים למים קשיות ואלקליניות בהתאם לדרישות הועדה לעדכון תקנות מי השתייה (ועדת עדין) כדלהלן:
קשיות סידן מומס: 120 עד 80 מג"ל (מבוטא כפחמת הסידן).
אלקליניות כללית: גדולה מ- 80 מג"ל (מבוטא כפחמת הסידן).
פוטנציאל שיקוע קרבונט הסידן: 3.0-10.0 (CCPP Calcium Carbonate Precipitation Potential)
הגבה: 8.5 (pH) מקסימום.

כיום ריכוז המגנזיום במים מותפלים הינו אפסי, מטרת העבודה הינה בחינת המשמעות של הוספת מגנזיום בריכוז של 20 עד 30 מג"ל למים אלו.

ועדת המכרזים הבין משרדית להתפלת מי ים, פנתה במכרז פתוח לקבלת הצעות לצורך בחירת חברת ייעוץ, ללווי תהליך של מתקן ניסוי, לצורך הוספת מגנזיום למים מותפלים, ובכלל זה איסוף מידע, הכנת מסמכי ההליך לביצוע מתקן הניסוי, פיקוח על ביצועי מתקן הניסוי, וניתוח ממצאיו, ולבסוף תכנון עקרוני של מתקן מסחרי להוספת מגנזיום למים מותפלים.

6.2 איסוף מידע

שלב העבודה הראשון הינו איסוף מידע, לרכז ולסקור חומרי רקע רלוונטיים, שישמשו להכנת ההליך העתידי לבחירת היזם/היזמים שיבצעו את מתקן הניסוי.

ההתייחסות הינה לשלבים הבאים:

- א. סקירה של הטכנולוגיות להוספת מגנזיום למים שפירים, ולמים מותפלים שקיימות בארץ ובעולם, כאשר מביאים בחשבון צריכת מגנזיום שנתית מקסימאלית (מבוססת על מינון של 30 מג"ל מגנזיום למים מותפלים) של 17,400 טון מגנזיום לשנה בשלב הנוכחי ו 33,000 טון בשלב העתידי עד לשנת 2030.
- ב. סקירה של ההשפעות הבריאותיות העשויות לנבוע מהוספת מגנזיום מול אי-הוספתו.
- ג. בחינה והערכה של איכויות המים במערכת הארצית לאחר הוספת מגנזיום, אל מול איכות המים במערכת הארצית ללא תוספת של מגנזיום.
- ד. סקירה של ההשפעות העקיפות הנובעות מאספקת מים עם ריכוזי מגנזיום נמוכים אל מול אספקת מים עם ריכוזי מגנזיום גבוהים, בפירוט של הטכנולוגיות השונות.
- ה. הוספת מגנזיום לאו דווקא על ידי מינון למים מותפלים, אלא בדרכים וטכנולוגיות שונות.



6.3 מקורות המגנזיום בארץ ובעולם

6.3.1 מפעלי ים המלח בישראל

מפעלי ים המלח מייצרים אשלגן מתמיסת קרנליט $\text{KMgCl}_3 \cdot (6\text{H}_2\text{O})$ שנשאבת מים המלח, ומטופלת במפעל. התמיסה מהמפעלים לאחר הפקת האשלג, בספיקה של אלפי מ"ק לשעה נקראת תמיסה מנוצלת (Spent Brine). תמיסה זו עשירה במגנזיום, אבל מכילה גם מלחים אחרים כדלהלן:

CaCl ₂ :	100 Gram/liter
MgCl ₂ :	300 Gram/liter
NaCl:	13 Gram/liter
MgBr ₂ :	0.5 Gram/liter

חלק קטן מספיקת תמיסה זו משמש כחומר גלם להפקת ברום במפעלי חברת הברום, וכחומר גלם להפקת מגנזיום במפעלי חברת המגנזיום, אבל רוב הספיקה מוחזרת חזרה לים המלח.

ברור שלא ניתן יהיה לנצל תמיסה זו לצורך הוספת מגנזיום למים המותפלים מכוון שיחד עם המגנזיום יתווספו למים המותפלים גם ריכוזים גבוהים של יונים שימנעו את אספקת המים: יוני כלורידים, נתרן, וברום.

יתכן וניתן יהיה להעלות את ההגבה של אותו חלק מהתמיסה שינוצל להפקת מגנזיום לערך של מעל 10, ולשקע את המגנזיום כמוצקים של מגנזיום הידרוקסיד. הפרדה של המוצקים מהתמיסה על ידי סינון, שטיפתם במים שפירים, ושליחתם כמוצקים רטובים למתקני ההתפלה.

שטיפת המוצקים תבצע ב 2 שלבים, שטיפה ראשונית על ידי מים שכבר עברו שטיפה ובהם ריכוז יחסית גבוה של יונים מומסים, ושלב שני וסופי על ידי מים שפירים. לאחר השטיפה ישמשו מים אלו לשטיפה ראשונית ואילו המים שנוצלו כבר לשטיפה ראשונית יוזרמו חזרה לים המלח.

יש לציין שריכוז המגנזיום בתמיסה זו גבוה בעשרות מונים מריכוזו בתמלחת מהתפלת מי ים.

ההיתכנות של שיטה זו תיבחן מול מפעלי ים המלח בהמשך העבודה.

6.3.2 מחצבי דולומיט

דולומיט הינו מינרל שמורכב מסידן ומגנזיום ביחס של 1:1, ונוסחתו הינה $\text{CaMg}(\text{CO}_3)$. הדולומיט מכיל עד 3% של תחמוצת המנגן MnO מה שנותן לו צבע ורוד. המנגן הינו יסוד שריכוזו בהתאם לתקנות איכות המים הינו 0.05 מג"ל ריכוז רצוי ו 0.5 מג"ל ריכוז מותר, כך שיהיה צורך לרכוש דולומיט עם ריכוז נמוך של מנגן.

מחצבי דולומיט נמצאים בישראל (בסוף עבודה זו מופיעים 8 מחצבות שונות לחציבת דולומיט), ובנוסף ישנם מחצבי דולומיט רבים באגן הים התיכון.

הדולומיט משמש כחומר גלם להפקת מגנזיה (MgO) וגם להפקת מתכת המגנזיום. דולומיט נמס בסביבה מימית חומצית.

6.3.3 מחצבי הונטיט

הונטיט הינו מינרל שמורכב מסידן ומגנזיום ביחס של 3 מגנזיום לעומת 1 סידן, ונוסחתו הינה $\text{Mg}_3\text{Ca}(\text{CO}_3)_4$. הונטיט נמס במהירות בתמיסות מימיות של חומצות בטמפרטורת החדר, כגון

תהל מהנדסים יועצים בע"מ • תכנון המים לישראל בע"מ • רח' אריק אינשטיין 5 אור יהודה 6037505 • www.tahal.com
ליווי הוספת מגנזיום למים / http://tahal-doc/Engineering/Project/127110/Reports/ מותפלים - דוח התקדמות מס 1 - 01-08-2018

מחצבת הונטיט – תכנון כללי ותכנון אב • טל" 03-6924678 • פקס: 03-6924550 • דוא"ל: EyalP@tahal.com



חומצה גופריתנית או חומצה חנקתית. נמנעים מחומצה מלחית מכיון שזו מוסיפה יוני כלורידים למים המותפלים.

יחסי מרכיבי ההונטיט הינם :

Ca: 11.35%
Mg: 20.65%
C: 13.61%
O: 54.35%

מרבצי הונטיט גדולים נמצאים בטורקיה וביוון. ההונטיט נחשב באופן מסחרי וזמין לרכישה.

מחצבי מגנזיט

6.3.4

מגנזיט הינו מינרל שמורכו ממגנזיום וקרבונט ונוסחתו הינה $MgCO_3$. המגנזיט הינו מקור לייצור של פריקלס MgO . המגנזיט נמס בקלות במים בהגבה נמוכה.

מחצבי מגנזיט נמצאים באוסטריה וגם ביוון. ביוון המגנזיט מסופק באופן מסחרי על ידי חברה יוונית בשם Grecian Magnetite.

חברת (מפעל) פריקלס בישראל

6.3.5

התמיסה במורד התהליך של הפקת האשלג במפעלי ים המלח (spent brine) מכילה ריכוז גבוהה מאד של מגנזיום 300 גרם לליטר.

חלק מהתמיסה מוזרם לכוון מפעל הפריקלס. במפעל זה בראקטורים שפועלים בטמפרטורה גבוהה מתחוללת הראקציה: $MgCl_2 + H_2O = MgO + 2HCl$.

אבקת תחמוצת המגנזיום שוקעת בתחתית הראקטורים ומקוררת על ידי מים שפירים. מקבלים מגנזיום הידרוקסיד קשה תמס. מלחי הכלורידים והברומידים המסיסים, נמסים במים ונשטפים החוצה. מקבלים מוצקים רטובים של הידרוקסיד המגנזיום שמשמש כחומר גלם לקבלת כדוריות פריקלס, לאחר איוד המים ופרוק ההידרוקסיד למגנזיום אוקסיד, בעמודות מצע מרחף של המוצקים כנגד גזי שריפה שנובעים משריפת דלק. פריקלס מסיס במים בהגבה נמוכה.

חברת (מפעל) הברום בישראל

6.3.6

חומר הגלם לחברת הברום להפקת ברום הינה אותה תמיסה שמוזכרת מעלה, במורד התהליך של הפקת אשלג.

התמיסה מכילה 0.5 גרם מגנזיום ברומיד לליטר תמיסה. הברומיד הינו יסוד שריכוזו במי שתיה לא מופיע בתקנון מי השתייה, אבל מהיותו מחמצן חזק הוא עלול להגיב עם מרכיבים במים וליצור ברומטרים, או ברומו כלורו מתן שריכוזם המותר במי שתיה אפסי.

באם התמיסה מעלה תהיה חומר גלם להפקת מגנזיום אזי עדיף שתהיה ללא נוכחות ברום.

תהליך הפקת הברום במפעלי חברת הברום הינה הגבה של הברומידים עם כלור בטמפרטורה גבוהה, במגדלי הראקציה, וקבלת ברום וכלורידים. כאמור התמיסה ביציאה ממגדלי הראקציה הינה בריכוז ברום נמוך מאד.

תהל מהנדסים יועצים בע"מ • תכנון המים לישראל בע"מ • רח' אריק אינשטיין 5 אור יהודה 6037505 • www.tahal.com
חטיבת הנדסה – תכנון כללי ותכניות אב • טל" 03-6924678 • פקס: 03-6924550 • דוא"ל: EyalP@tahal.com



הפקת מגנזיום ממי ים לאחר טיפול מוקדם או מתמלחת מי ים במתקני התפלת מי ים

מקור נוסף למגנזיום הינם מי ים מטופלים, ותמלחת משלב ההתפלה הראשון, שלב התפלת מי הים.

אנליזת יונים מייצגת של מי הים והתמלחת, מוצגת בטבלה 2.

טבלה 2 - אנליזת יונים מייצגת של מי הים והתמלחת

ריכוז בתמלחת (מג"ל)	ריכוז במי הים (מג"ל)	יון
925	450	Ca
2,960	1,453	Mg
23,983	12,488	Na
1,105	450	K
273	128	HCO ₃
66.2	13.7	CO ₃
7,404	3,406	SO ₄
42,543	22,100	Cl
8.9	5.1	B
79,315	40,500	TDS
15/30	15/30	טמפרטורה מעלות C

יתרון למקור מגנזיום זה הוא בכך שמי הים המטופלים, והתמלחת הינה חלק ממערך ההתפלה, וכמוכן בתחום מערך זה, לעומת זאת חיסרון מקור זה הינו בריכוז הנמוך של מגנזיום.

לדוגמה, ריכוז מגנזיום כלוריד בתמלחת מפעלי ים המלח הינו 300 גרם לליטר, שווה ערך לריכוז מגנזיום של 75.8 גרם לליטר או 75,800 מיליגרם לליטר, זאת לעומת 2,960 מיליגרם לליטר בתמלחת מתקן התפלה (ריכוז פי 25 יותר).

רכישת תרכובות מגנזיום

רכישה של תרכובות מגנזיום מותרים לשימוש במי שתיה, המסתם במים, והזרקתם בתנאי שלא תהיה סטייה מהותית מהנחיות הועדה לעדכון תקנות מי שתיה (ועדת עדין).

דוגמה לכך הינו מתקן התפלת מי ים בדקליה קפריסין, לתפוקה של 40,000 מ"ק ליממה, שם בנוסף להוספת סידן ואלקליניות למים מוסיפים מגנזיום על ידי מינון של סולפט המגנזיום (MgSO₄), וזאת החל משנת 1999.

סולפט הסידן נרכש כמוצק בטיב מותר לשימוש לבני אדם (Food Grade), מומס באתר, ומוזרק למים המותפלים במסגרת הטיפול המשלים.

6.4 שיטות להעשרת המים המותפלים במגנזיום**שיטות בהן מי הים המטופלים בטיפול המקדים הינו חומר הגלם להפקת מגנזיום והוספתו למים המותפלים, או תמלחת התפלת מי הים (שלב התפלה ראשון).**

שיטה שמבוססת על הפרדה באמצעות מגנט של מגנזיום הידרוקסיד ותחמוצת ברזל, מאמר של ליאת בירנהק ואורי להב 2015
המאמר מתאר שיטה כלכלית להפקת מגנזיום מתמלחת שלב התפלה ראשון, התפלת מי ים.

תהל מהנדסים יועצים בע"מ • תכנון המים לישראל בע"מ • רח' אריק אינשטיין 5 אור יהודה 6037505 • www.tahal.com
חטיבת הנדסה – תכנון כללי ותכנון אב • טל" 03-6924678 • פקס: 03-6924550 • דוא"ל: EyalP@tahal.com



בשלב הראשון התמלחת זורמת לממברנות ננו סינון (Nano filtration). הממברנות דוחות יונים דו ערכיים: Mg^{+2} , Ca^{+2} , SO_4^{+2} , ומעבירות דרכן יונים מונו ערכיים: Na^+ , Cl^- , ובורון H_3BO_3 . הסלקטיביות של ממברנות ננו אינה טובה, ולכן בזרם "התמלחת" ישנו ריכוז משמעותי של יונים מונו ערכיים ובורון, ואילו בזרם שעבר את הממברנות, ריכוז משמעותי של יונים דו ערכיים.

כאשר מעלים את ההגבה של זרם "התמלחת" אזי שוקע המלח קשה התמס מגנזיום הידרוקסיד ונספח לחלקיקים מיקרו מגנטיים Fe_3O_4 . אלה מופרדים מהתמיסה, נשטפים ומומסים במסגרת הטיפול המשלים במים המותפלים.

קודם לשלב הננו סינון, ישנו מינון של חומצה בכדי לפרק חלק מהביקרבונט, כך שלא יהיה שיקוע של אבנית קרבונטית על פני הממברנות.

שיטה שמבוססת על תהליך ננו סינון משופר, מאמר של פז נתיב, ליאת בירנהק, ואורי להב 2016
בהתאם לשיטה בשלב הראשון ישנו מינון של חומצה בכדי לפרק את הביקרבונט, כך שלא ישקעו במערכת.

בשלב השני מזרימים את התמלחת למערכת של ננו מסננים, אבל משפרים את הסלקטיביות של המערכת על ידי הוספת זרם של מים רכים (הכוונה הינה למים מותפלים ממתקן התפלה שלב ראשון) שמסוחררים בין יציאת "התמלחת" מהננו מסננים, לכניסה לננו מסננים. הוספת המים משפרת את הסלקטיביות של הננו מסננים, כך שמקבלים יחס של כלורידים למגנזיום של 1.52 עד 3.27 (אם הדרישה לריכוז מגנזיום תהיה 30 מג"ל אזי ריכוז הכלורידים כתוצאה ממינון המגנזיום יעלה מ 45 מג"ל ל 98 מג"ל בהתאמה).

בסופו של דבר, החליטה החברת טכנולוגיות לשימור הסביבה, ביחד עם אורי להב וליאת בירנהק לאמץ שיטה שמבוססת על תהליך ננו דו שלבי ובנוסף אולטרה פילטראציה בכדי לסנן חידקים ווירוסים מהתמלחת עשירה במגנזיום, מאמר של Samuel C.N., Liat Birnhack, Paz Nativ, Ori Lahav.
חברה זו הינה בעלת הפטנט להוספת מגנזיום למים מותפלים בשיטה זו.

בתאריך 24.07.2018 נערכה פגישה עם החברה טכנולוגיות לשימור הסביבה להבהרת הטכנולוגיה, סיכום הדיון בנספח ב.

שיטה שמבוססת על שיקוע של המגנזיום מתמלחת שלב ההתפלה הראשון
על ידי העלאת ההגבה לערך של מעל ל 10, באמצעות מינון של סודה קאוסטית, שיקוע של מגנזיום הידרוקסיד, סינון מוצקים של מגנזיום הידרוקסיד, שטיפתם. מאמר של Cipollina et all.

6.4.2 שיטות שבהן תרכובות מגנזיום מגיעות מאחת ממפעלי חברת "כימיקלים לישראל"

בתאריך 25.07.2018 נערכה פגישה עם נציגי כ"ל להבהרת הטכנולוגיה, סיכום הדיון בנספח ב.
בתאריך 31.07.2018 נערכה פגישה עם נציגי המכון הגיאולוגי להבהרת טכנולוגיה לשימוש במגנזיום כלוריד, סיכום הדיון בנספח ב.

6.4.3 שיטות שבהן יש שימוש במחצבים עשירים במגנזיום: דולומיט, הונטיט, מגנזיט

בתאריך 25.07.2018 נערכה פגישה עם נציגי הפקולטה להנדסה כימית בטכניון, להבהרת הטכנולוגיה, סיכום הדיון בנספח ב.

יש לבדוק עליות ואיכות של מחצבי דולומיט בארץ ובסביבה הגאוגרפית שקרובה לישראל.

תהל מהנדסים יועצים בע"מ • תכנון המים לישראל בע"מ • רח' אריק אינשטיין 5 אור יהודה 6037505 • www.tahal.com
הטיבת הנדסה – תכנון כללי ותכניות אב • טל" 03-6924678 • פקס: 03-6924550 • דוא"ל: EyalP@tahal.com



מחצבי דולומיט בארץ מתוך האינטרנט הינם :
מחצבת אשרת בבעלות חברת ניהול יחיד סי מרצבי דולומיט.
מחצבת בית אלפא חברת ניהול קיבוץ בית אלפא.
מחצבת גולני חברת ניהול תעשיות אבן וסיד.
מחצבת הר דרגות חברת ניהול תעשיות אבן וסיד.
מחצבת הר טוב חברת ניהול מחצבת הר טוב.
מחצבת הר שחר חברת ניהול אליקים בן ארי.
חברת ורד חברת ניהול מחצבות ורד.
מחצבת זנוח (בית שמש) חברת ניהול מחצבות ורד.
כמו כן ישנם מחצבות רבות באגן הים התיכון.

שיטות מבוססות על רכישה של כימיקליים במצב מוצק, והמסתם באתר ההתפלה

6.4.4

דוגמה לכך הינו מתקן התפלת מי ים בדקליה קפריסין, לתפוקה של 40,000 מ"ק ליממה, שם בנוסף להוספת סידן ואלקליניות למים מוסיפים מגנזיום על ידי מינון של סולפט המגנזיום ($MgSO_4$), וזאת החל משנת 1999. סולפט הסידן נרכש כמוצק בטיב מותר לשימוש לבני אדם (Food Grade), מומס באתר, ומוזרק למים המותפלים במסגרת הטיפול המשלים.

בתאריך 30.07.2018 נערכה פגישה עם נציגי חברת דיפוכם עמגל, להבהרת הטכנולוגיה, סיכום הדיון בנספח ב.



7. סקירת ריכוזי מגנזיום במקורות המים הטבעיים

לצורך הרצת מודל התפשטות ההידראולי וכיולו מבחינת ריכוזים, בוצע סקר מקדים של ריכוזי מגנזיום וסידן במקורות המים הטבעיים בארץ. במסגרת הסקר התקבלו נתוני איכות מים ממשרד הבריאות (לכ – 89 קידוחים), מחברת מקורות - חבל הירדן (לכ- 8 נקודות לאורך המוביל הארצי) ומהשירות ההידרולוגי (לכ- 500 קידוחים פעילים).

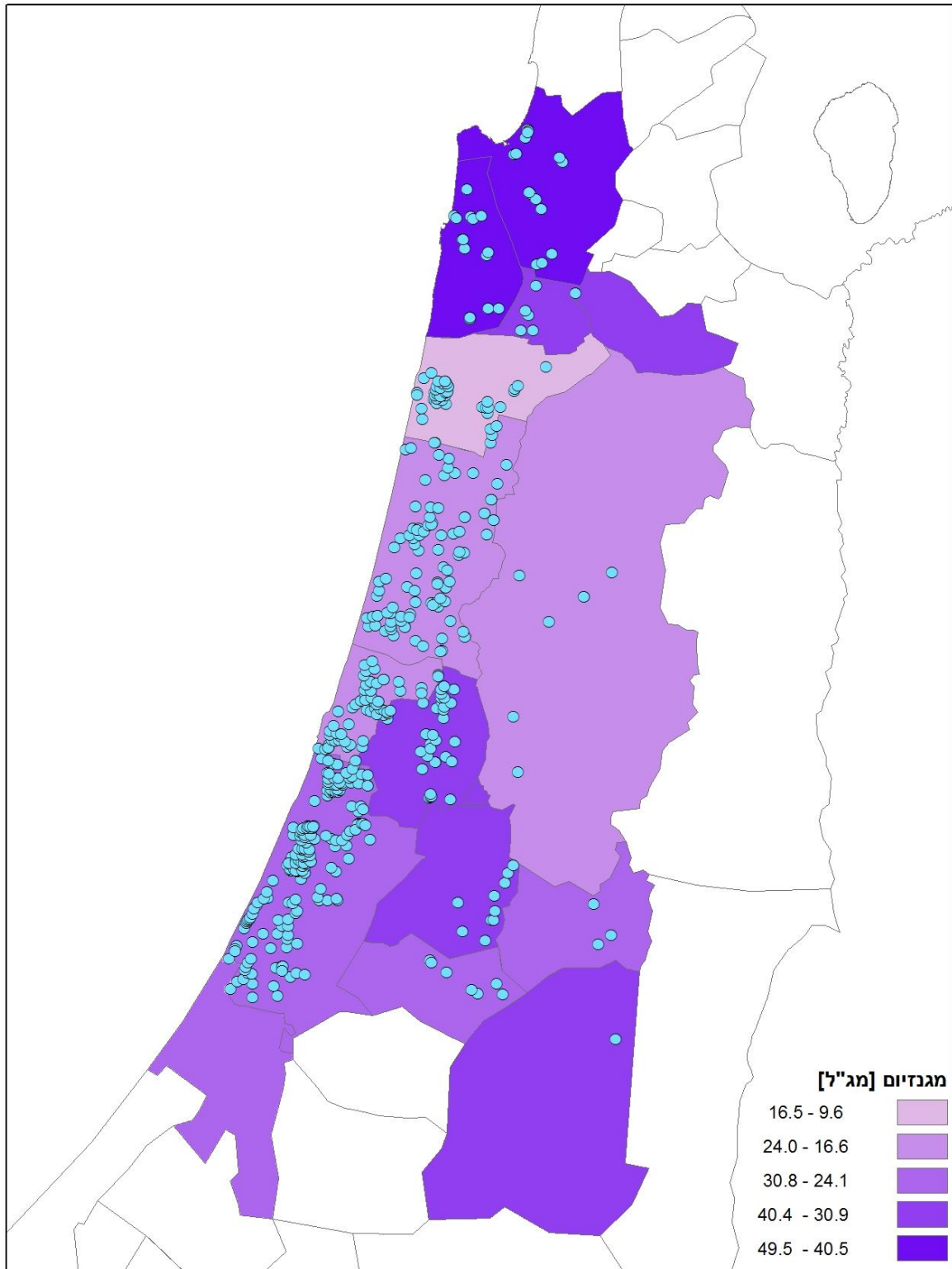
ניתוח המידע על פי פיזור גיאוגרפי מוצג בטבלה 3. חשוב להדגיש שניתוח המידע הינו בהתאם למיקום הגיאוגרפי של הקידוחים ללא התייחסות לחלוקת הקידוחים לאקוויפרים הידרולוגים.

טבלה 3 - פילוג ריכוזי מגנזיום וסידן במקורות המים הטבעיים שלאורך המערכת הארצית

סידן Ca - כ [מג"ל]	מגנזיום Mg - כ [מג"ל]	אזור גאוגרפי
124.4	49.5	אפק
149.6	45.9	חוף הכרמל
88.4	35.0	הרי אפריים
84.4	40.4	תענך מגידו
92.3	16.5	פרדס חנה
73.0	24.0	יהודה ושומרון
94.7	24.0	עמק חפר
93.7	20.2	תל אביב
97.7	28.0	ראשלי"צ
84.8	35.2	שפלת לוד
75.9	33.7	מודיעין
74.3	27.1	ירושלים
70.7	30.8	עגור
65.0	-	לכיש
62.0	34.0	חברון
53.5	9.6	גברעם
49.8	32.7	כנרת (תחנת ספיר)
47.4	22.6	מוביל ארצי (ביציאה ממתקן הסינון המרכזי)

ניתן לראות כי ריכוז המגנזיום הממוצע הוא כ- 30 מג"ל וריכוז הסידן הממוצע כ- 82 מג"ל.

הנתונים שנאספו ישמשו למודל התפשטות המגנזיום במערכת הארצית לניתוח השפעה תוספת ריכוזים שונים של מגנזיום ממתקני ההתפלה (0 מג"ל, 20 מג"ל ו- 30 מג"ל). בשלב ראשון יבוצע כיוול של מודל ההתפשטות באמצעות נתוני הסידן להתאמת ריכוזי הסידן כפי שנמדדו לאורך המערכת הארצית ובערים.



איור 2 – פירוס גאוגרפי של ריכוזי מגנזיום ממקורות המים הטבעיים
 ריכוז המגנזיום לכל אזור חושב בהתאם למיקום גיאוגרפי של הקידוחים
 ללא התייחסות לחלוקה לאקוויפרים הידרולוגיים.

תהל מהנדסים ועצים בע"מ • תכנון המים לישראל בע"מ • רח' אריק אינשטיין 5 אור יהודה 6037505 • www.tahal.com
 חטיבת הנדסה – תכנון כללי ותכניות אב • טל" 03-6924678 • פקס: 03-6924550 • דוא"ל: EyalP@tahal.com



נספחים

תהל מהנדסים יועצים בע"מ • תכנון המים לישראל בע"מ • רח' אריק אינשטיין 5 אור יהודה 6037505 • www.tahal.com
חטיבת הנדסה – תכנון כללי ותכניות אב • טל' 03-6924678 • פקס: 03-6924550 • דוא"ל: EyalP@tahal.com



עמוד 21

ליווי הוספת מגנזיום למים <http://tahal-doc/Engineering/Project/127110/Reports/>
01-08-2018 - דוח התקדמות מס 1 - מותפלים.docx

01/08/2018

מקבוצת קרדן



נספח א' – מסמך הצעה מקצועית (מתודולוגיה)

תהל מהנדסים יועצים בע"מ • תכנון המים לישראל בע"מ • רח' אריק אינשטיין 5 אור יהודה 6037505 • www.tahal.com
חטיבת הנדסה – תכנון כללי ותכניות אב • טל" 03-6924678 • פקס: 03-6924550 • דוא"ל: EyalP@tahal.com



עמוד 22

<http://tahal-doc/Engineering/Project/127110/Reports/> ליווי הוספת מגנייים למים
01-08-2018 - דוח התקדמות מס 1 - מותפלים.docx

01/08/2018

מקבוצת קרדן



הצעה מקצועית (מתודולוגיה)

1. רקע כללי

1.1 מצב ההתפלה היום ובעתיד

כיום צריכת השפירים במדינת ישראל עומדת על כ- 1,500 מלמ"ש (מליון מ"ק לשנה), כאשר מתוכם כ- 600 מלמ"ש מופקים משישה מתקני התפלת מים ים, כדלקמן: חדרה 127 מלמ"ש, שורק 150 מלמ"ש, פלמחים 90 מלמ"ש, אשדוד 100 מלמ"ש, אשקלון 120 מלמ"ש, אילת 3 מלמ"ש. כיום מי ים מותפלים מהווים כ- 40% ממקורות המים השפירים, בעיקר באזור המרכז והנגב הצפוני. עם הגידול הצפוי באוכלוסיה והצמצום ההדרגתי במשקעים (כתוצאה מתופעות גלובליות), צפוי היקף ההתפלה לגדול בהתאמה ועד שנת 2050 צפוי להוות עד כ- 65% ממקורות המים השפירים במדינה (נתונים אלה בהתאם לתוכנית אב למערכת המים הארצית שבהכנה בחברת תהל, עבור רשות המים).

מים מותפלים מכילים כמות מלחים אפסית, זאת בניגוד למים ממקורות טבעיים (מי תהום ומים עיליים). לאחר התפלה המים במתקני ההתפלה, המים עוברים שלב הקשייה ("טיפול משלים") בו מוסיפים למים יוני סידן ויוני ביקרבוט. תקנות בריאות העם (איכותם התברואית של מי שתיה ומתקני מי שתיה), התשע"ג 2013, מגדירות איכות מים נדרשת ביציאה ממתקני ההתפלה בהתאם לריכוזי סידן מומס, ללא התייחסות לריכוז מגנזיום נדרש, שכן, זה מסולק בתהליך ההתפלה.

בהתאם לדרישת משרד הבריאות ובהתאם להוראת שעה – מגנזיום (תיקון התשע"ו), לתקנות בריאות העם לאיכות מי שתיה, הוגדר שתבוצע בחינה של משמעותיות ועלויות הוספת מגנזיום למים מותפלים, במטרה לבחון את העלויות ומידת השימויות של הטכנולוגיות השונות להוספת מגנזיום למים מותפלים. הבחינה תכלול הקמת מתקן חלוץ (פיילוט) באחד או יותר ממתקני ההתפלה, להוספת 20 עד 30 מג"ל (מיליגרם לליטר) מגנזיום חזרה למים המותפלים, כולל הקמת צוות מקצועי בין משרדי שיהיה אחראי לקביעת מתווה מיתקן החלוץ, תכולתו והיקפו, ובכלל זה, מפרט העבודה, השלבים, המתודולוגיה והמדדים המדויקים לבחינה.

2. מטרת העבודה

בחינת הצורך, האמצעים והמשמעותיות להוספת מגנזיום למים מותפלים בישראל, על האדם והסביבה, מנקודת מבט תהליכית, סביבתית, בריאותית וכלכלית.

3. גישת העבודה

3.1 כללי

העבודה תבחן את המשמעות של אי-הוספת ושל הוספת מגנזיום למים מותפלים בישראל.

בהתבסס על מקורות מידע זמינים ומודל התפשטות הידראולי, תבוצע בחינה של המצב הקיים בישראל מבחינת ריכוזי מגנזיום ברשת אספקת המים הארצית. יערך סקר ספרות אשר יבחן קשר אפשרי בין תוספת מגנזיום למים מותפלים לבין השפעה על הבריאות, החקלאות (איכות קולחים), התעשייה והסביבה. בהמשך, תינתן המלצה לריכוז המגנזיום להוספה במתקני ההתפלה בהתאם למסקנות סקר הספרות ומודל ההתפשטות ההידראולי. המסקנות של שלב זה יסתכמו במדדי עלות ואיכות שיאפשרו ניתוח המשמעותיות של תוספת המגנזיום על האדם והסביבה.

בהמשך, יבוצע במספר שלבים, סקר של הטכנולוגיות שקיימות להוספת מגנזיום למים, ליווי הקמת מתקן חלוץ לבחינת טכנולוגיות נבחרות. תוצאות סיום תקופת הרצת מתקן החלוץ יסתכמו במדדי עלות ואיכות שיאפשרו השוואה של הטכנולוגיות השונות.

דוח מסכם יערך השוואה בין מדדי העלות והאיכות להשפעת הוספת המגנזיום על האדם והסביבה, לבין מדדי העלות והאיכות של הטכנולוגיה להוספת המגנזיום, לפיהם תבוצע המלצה לגבי המשמעותיות והכדאיות להוספת מגנזיום למים מותפלים.

3.2 צוות יעוץ ותכנון

העבודה המקצועית תתחלק בין ארבעת אנשי הצוות, בהתאם לתחום ההתמחות, אשר יעבדו בתאום, כדלקמן.



ראש הצוות – מבחינה ניהולית, ירכז את עבודת צוות היועצים אל מול דרישות המזמין, מפרט המכרז, התקציב והלווי. מבחינה מקצועית, ראש הצוות, אשר בין היתר, מעורב בתכנון ותוכניות אב למשק המים, ייתן נקודת מבט מערכתית, מאזינת, והידראולית של תנועת ומהילת המגנזיום במערכת הארצית בהתאם למקורות המים ותפעול המערכת. בנוסף, נקודת מבט הנדסית בבחינת חלופות טכנולוגיות להוספת מגנזיום ולשילוב מתקן פיילוט במתקני ההתפלה.

ד"ר אייל פרייס – בעל תואר ראשון בהנדסת סביבה, ותואר שני ושלישי מהטכניון, בנושא ניהול משאבי מים. בעל כ-13 שנות ניסיון בתכנון וניתוח מערכות מים בארץ ובחו"ל. ניהל צוותי תכנון מפורט בעשרות פרויקטים מורכבים, חלקם מהגדולים במשק המים, כולל ביצוע פיקוח עליון לביצוע עד מסירה. ניסיון עשיר בתכנון מערכות וניתוח תפעול אופטימלי של מערכות אספקת מים אזוריות וארציות, כולל תוכנית אב לפיתוח המערכת הארצית, ותוכנית האב לאספקת מים שפירים לנגב.

מהנדס תהליך, בעל ניסיון בגמלון – ייתן נקודת הסתכלות תהליכית, על מצב מתקני ההתפלה כיום, סקירת השפעת ריכוזי מגנזיום נמוכים וגבוהים על התעשייה, החקלאות, המים העיליים, מי התהום, ועל מכוני טיהור השפכים. בנוסף, יבצע סקירת טכנולוגיות להוספת מגנזיום במתקני ההתפלה, ויהווה מרכז הידע בבחינת החלופות הטכנולוגיות, שילובם כפיילוט, הגדרת מאפייני המכרז לביצוע פיילוט, ליווי הקמת ותפעול הפיילוט וניתוח התוצאות תוך מתן המלצות למתקן בגודל מלא.

ניסים נדב, MSc – בעל תואר ראשון ושני מהפקולטה להנדסה כימית מהטכניון. בתואר השני, בהנחיתו של פרופ' זאב תדמור, עסק בתהליכים שונים בתעשיות הפלסטיק. תוצרי המחקר שימשו תעשייה זו מספר שנים מכוון שמצאה שיטה לערבב בעילות כימיקלים שונים עם הפולימר, כימיקלים שנועדו להאריך את חיי יריעות הפוליאתילן בשימוש החקלאות. בהמשך, עבד כ-25 שנים בחברת אי די אי טכנולוגיות, מהם כ-10 שנים כמנהל המחלקה לתכנון תהליכים. עיקר העבודה הייתה בתחום מתקני התפלה טרמיים בכל העולם, כולל עבודה עם קבוצות מהנדסים אינטרדיסציפלינריים בחברות שונות ברחבי העולם. בשנים 1993 עד 1994 הושאל לחברת הברום (חברת בת של כימיקלים לישראל בדומה ל- אי די אי טכנולוגיות) בתפקיד מהנדס התהליך של שיטה חדשנית להשבת חום וברום מזרמי שפכים. על עבודה זו זכה ביחד עם אחרים בפרס קפלן מידי נשיא המדינה דאז מר הרצוג. ב-20 השנים הבאות עבד בחברת מקורות כמהנדס פרויקט ומהנדס תהליך בפרויקטים רבים בארץ: מתקני התפלת מים מליחים באילת, מתקן חלוץ להתפלת מי ים באילת, מתקן התפלה בקציעות, בשיזפון ועוד. ב-5 השנים האחרונות שימש בתפקיד מהנדס הפרויקט של מתקן התפלת מי ים גדול בקפריסין שפועל היטב, ועוד מספר חודשים כמהנדס פרויקט אשדוד מטעם מקורות. בגיל 69 יצא לגמלאות ומאז עובד כעצמאי.

מומחה לבריאות הציבור – תיתן נקודת מבט רפואית, בריאותית על השפעת ריכוזי מגנזיום נמוכים וגבוהים לאדם, ישירות ועקיפות. בנוסף, סקירה של חלופות נוספות לתוספת מגנזיום שמקורו אינו מהוספת מגנזיום למים מותפלים.

פרופ' אילנה בלמקר – הינה בעלת תואר ראשון מאוניברסיטת Harvard, בעלת תואר שני בבריאות הציבור מהאוניברסיטה העברית בהצטיינות, ובעלת תואר של דוקטור ברפואה מ-Duke University. היא סיימה התמחות בבריאות הציבור במרכז רפואי הדסה/אוניברסיטה עברית וקיבלה הכרה בארץ כמומחית בבריאות הציבור ב-1979. כרופאת מחוז הדרום של משרד הבריאות בין השנים 2012-1988 ניהלה את הלשכה המחוזית על כל תפקידיה, כולל ביצוע חקירות אפידמיולוגיות, פיקוח על המחלקה לבריאות הסביבה, שרות המזון המחוזי, המעבדה המחוזית ועוד. היא מלאה מספר תפקידים בכירים כולל יו"ר הוועדה הבין-משרדית לאפידמיולוגיה סביבתית (1997-1993), נציגת שר הבריאות במ"מ תעשייתית רמת חובב (2002-1990), חברת המועצה הלאומית לקידום בריאות (2015-2009) ועוד תפקידים רבים. היא פרופ' חבר לבריאות הציבור באוניברסיטת בן-גוריון בנגב (בדימוס) ופרסמה יותר מ-45 פרסומים אקדמיים ב-peer-reviewed journals ונתנה הרצאות מדעיות בעשרות כנסים ארציים ובין-לאומיים. היא יזמה וגייסה את התקציב לסקר אפידמיולוגיה לבדיקת השפעות בריאותיות אפשריות של מכלול המפעלים שבמ"מ תעשייתית רמת חובב על בריאות תושבי האזור. היא ממשיכה להיות פעילה באקדמיה בארץ ובעולם.

יועץ כלכלי – ייתן נקודת מבט כלכלית ומסחרית לאורך כל שלבי התוכנית, הן לניתוח המצב הקיים במתקני ההתפלה, ניתוח עלויות עקיפות לריכוזי מגנזיום נמוכים וגבוהים, ניתוח כלכלי לחלופות טכנולוגיות להוספת

מגנזיום, הגדרת מאפייני המכרז לפיילוט, תנאי סף פיננסיים, אומדני התקציב לביצוע הפיילוט, ליווי הקמת ותפעול הפיילוט וניתוח התוצאות עד להמלצות למתקן בגודל מלא.

שגיאה בן סימון, MBA - מתמחה בתחום התשתיות, רגולציה, מימון פרויקטים. בפרט בתחומי המים והאנרגיה בשיתוף המגזר הפרטי והינו בעל ניסיון רב בליוי גופים ציבוריים, ממשלתיים ויזמים פרטיים. שותף לייעוץ לאורך כלל ההליכים במכרזי תשתיות, בניית מודלים כלכליים, רגולטורים ופיננסיים, כתיבת חוות דעת כלכליות וליוי של פרויקטים. שימש יועץ לוועדות מכרזים בין משרדיות כמו גם לחברות פרטיות במגוון פרויקטים ועסק בבחינת מודלים כלכליים וניתוח מגוון סוגיות מכרזיות ומימוניות תוך מתן דגש לתועלת המשקית.

4. תכולה ושלבי עבודה

4.1. כללי

תכולת העבודה, משימות הצוות ולוחות הזמנים, מפורטות במפרט (בנספחים ח', ט', י' במסמכי המכרז). שלבי העבודה כפי שאנו מציעים מוצגים בהצגה כללית באיור מס' 1 ובפירוט סעיפים הבאים. בהמשך מסמך זה, מובאים דגשים נוספים בחלוקה לתחומי המקצוע של הצוות.

4.2. לוחות זמנים

לוחות הזמנים לביצוע העבודה, בתאום עם המזמין, בהתבסס על לוח הזמנים שבנספח י'.

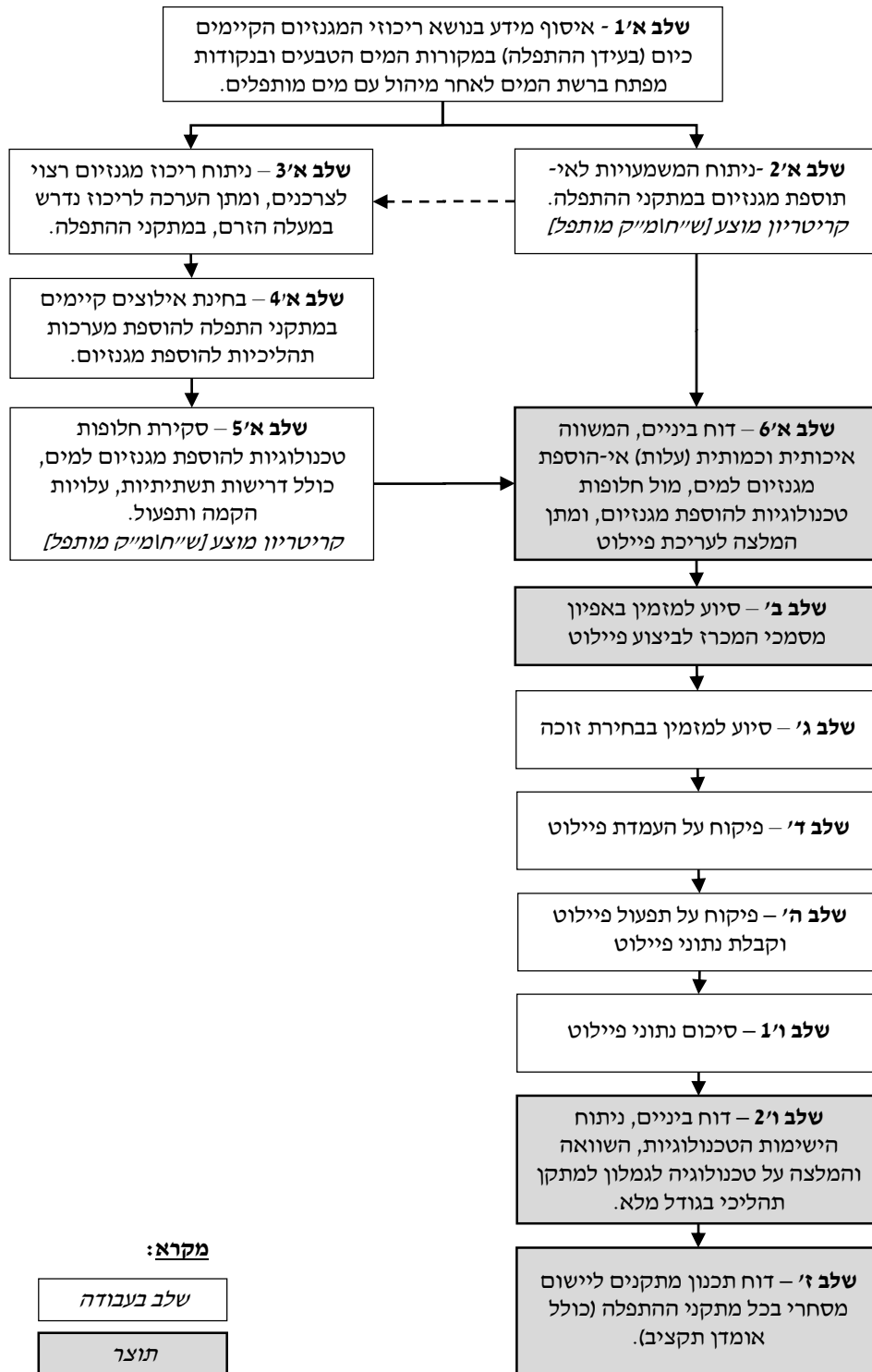
4.3. פירוט תכולת העבודה לפי שלבים (בהתאם לאיור מס' 1)

שלב א'1 - איסוף מידע

- **ניתוח ריכוז המגנזיום במקורות המים הטבעיים ובגידולי שדה בישראל, משלושה מקורות:**
 - (1) הערכת ריכוז המגנזיום שקיים כיום במערכת, בנקודות מפתח ברשת הארצית, באמצעות מודל הידראולי ארצי שפותח בחברת תהל עבור רשות המים (השימוש במודל כתלות בקבלת אישור רשות המים לעשות שימוש במודל) או במקרה הצורך, במודל זרימה סטטיסטי ייעודי שיוכן לעבודה זו. תבוצע הערכה בהתאם למיהול ריכוזי מגנזיום ממקורות המים השונים במערכת הארצית, והתנהגות הידראולית ומאזנית של המערכת בתנאי תפעול שונים, בהתאם לעונות השנה, בהתאם לתרחישי תפעול במערכת (בשנים שחונות \ ממוצעות \ ברוכות משקעים) ובהתאם לשלבי פיתוח המערכת.
 - (2) מוצע שהמזמין יממן סקר ארצי לדיגום ריכוז מגנזיום בחיבורי הצרכן של חברת מקורות לערים, ובנקודות מפתח במערכת, במהלך ארבעה מועדים בשנה (בהתאם לעונות השונות). מטרת הסקר לאמת מצב קיים וכן, לאפשר כיוול המודל ההידראולי. מוצע לשקול ביצוע סקר מקיף ברמת מי ברז בבתי מגורים לבחינת יחס ריכוז המגנזיום בכניסה לעיר ואצל הצרכנים.
 - (3) מוצע שהמזמין יממן סקר לבדיקת ריכוזי מגנזיום בגידולי שדה ופירות המושקים במים מותפלים, לפני ואחרי הוספת המגנזיום. לחלופין, ניתן יהיה להתבסס על מחקרים וספרות קיימים.
- מטרת שלב זה, לקבל תמונת מצב של ריכוזי המגנזיום ברשת בנקודות מפתח, תחת מצבי תפעול ועומס שונים במערכת, ולאפשר הערכה של הצריכה בפועל של המגנזיום באוכלוסייה בישראל, מהמים ומהמזון באזורים שבהם יסופקו מים מותפלים לפני ואחרי הוספת המגנזיום.
- הניתוח יעשה לשלב המידי (שנת 2017) וכן, באמצעות המודל ההידראולי, לשלב עתידי 2030 ו-2050, ללא תוספת מגנזיום במתקני ההתפלה, בהתאם לתחזית אוכלוסייה וקצב פיתוח מתקני התפלה מוצע בתאום עם תכנית האב לפיתוח המערכת הארצית, הנמצאת בהכנה בחברת תהל עבור אגף התכנון ברשות המים.



תהל מהנדסים יועצים בע"מ
פנייה לקבלת שירותי ייעוץ לליוי תהליך של פיילוט להוספת מגנזיום למים מותפלים



איור מס' 1 – תכנית עבודה בחלוקה לשלבים ותוצרים



שלב א'2 - ניתוח המשמעותיות לאי-תוספת מגנזיום במתקני ההתפלה

- בריאות הציבור - ניתוח השפעת אי-החזרת מגנזיום למים מותפלים על בריאות הציבור, יבוצע בהתאם לסקר ספרות, ומיטב הידע המקצועי הקיים בעולם ובארץ על תחלואה ותמותה שניתנות לייחס לחסר מגנזיום (hypomagnesemia) בכלל ולצריכה נמוכה מדי של מגנזיום במי שתייה בפרט. יוגדרו קבוצות אוכלוסיית בסיכון בארץ ל- hypomagnesemia. תבוצע סקירה של ספרות ישראלית על מקורות מגנזיום בתזונה הישראלית (מזון, מי שתייה, משקאות ותוספי תזונה). יוגדרו אוכלוסיות בסיכון בישראל לצריכת חסר של מגנזיום בכלל, ואוכלוסיות בסיכון בגלל העדר מגנזיום במי שתייה בפרט. על סמך כל המידע הרשום לעיל, יבוצע ניתוח של המשמעות לבריאות הציבור בישראל של החזרת מגנזיום למים מותפלים לעומת אי-החזרתו. כמו-כן, ידונו חלופות למניעת חסר צריכה של מגנזיום באוכלוסיות שונות בישראל.
- **במגזר החקלאי** תיבחן השפעת אי-הוספת המגנזיום למים המסופקים על גידולים עיקריים, ירקות פירות וכ"ה. כמו כן תיבחן ההשפעה של ריכוזי מגנזיום נמוכים על איכות הקרקע לאחר השקיה רבת שנים.
- **במגזר התעשייתי** תיבחן המשמעות של אי-הוספת מגנזיום למים המותפלים על תעשיות שונות ובעיקר תעשיית המזון: מה תהיה ההשפעה על תעשיית היין? תעשיית הבירה? תעשיית הלחם? כל אלה מאופיינים על ידי שמרים אופייניים לכל תעשייה - כיצד יגיבו השמרים על ריכוזי המגנזיום במים בריכוז נמוך? ידוע כי אנליזת המים הינה בעלת השפעה גדולה על תעשיות אלו.
- **במגזר הביתי ועירוני** תיבחן השפעת ריכוזי המגנזיום במים המסופקים בעיקר על מערכות הביוב העירוני - האם לא יתפתחו תהליכים שלילים במערכות אלו שיגבילו את זרימת השפכים או אפילו יגרמו לנזק משקעים על פני צנרת הולכת הביוב (מגנזיום הינו מרכיב באלומינו סיליקטים - משקעים קשי תמס שקשה להסירם).
- **מכוני הטיהור** - ליבת מכוני הטיהור הינה פעילות מיקרוביאלית, (ארובית ואנארובית). פעילות זו מושפעת מאנליזת מי הביוב הגולמיים. ריכוזי מגנזיום גבוהים/נמוכים ישפיעו על פעילות זו. כמו כן גם כאן יש לבדוק את פוטנציאל השיקוע של אלומינו סיליקטים.
- יבוצע כימות העלויות הישירות והעקיפות, במונחי תחלואה או תמותה, וכן כתוצאה מהשפעות סביבתיות, על המגזר הביתי, התעשייתי והחקלאי. מוצע שהקריטריון הכלכלי להשוואה יהיה (עלות \ למ"ק מותפל), קרי, העלות השנתית העקיפה למשק במיליוני-שקלים מאי-תוספת מגנזיום, חלקי כמות המים המותפלים השנתית במיליוני-מ"ק.

שלב א'3 - ניתוח ריכוז מגנזיום רצוי בצרכנים, ומתן הערכה לריכוז נדרש במתקני ההתפלה

- בהתאם לניתוח שיבוצע בשלב א'2, תגובש המלצה לריכוז המגנזיום הרצוי לאספקה לצרכני הקצה.
- ההמלצה תתבסס על תקנות בין לאומיות וצריכת מגנזיום ממוצעת לאדם, וכן על ההשפעות העקיפות הצפויות על הפרמטרים שצויינו בשלב א'2 לאור תוספת מגנזיום במתקני ההתפלה.
- באמצעות מודל ההידראולי הארצי, יקבע ריכוז המגנזיום המינימלי שנדרש להוספה במתקני ההתפלה, לקבלת הריכוז הנדרש אצל צרכני הקצה ברשת, בשלב הנוכחי ובשלבי פיתוח עתידיים 2030 ו-2050.

שלב א'4 - בחינת מגבלות קיימות במתקני התפלה להוספת מערכות תהליכיות

- הסקר יכלול את כל מתקני ההתפלה בישראל, התפלת מי ים והתפלת מים מליחים ובהם יתוארו וכמו כן, ינותחו הביצועים של המערכים. המידע יכלול, כדלהלן. (א) **מקור מי הגלם** וההיבטים השונים של השפעת מקור זה על תהליך ההתפלה. (ב) **שיטת הטיפול המוקדם** תוך כדי בדיקת התאמתו לאיכות מי הגלם: מסנני מצע לסוגיהם, מסנני אולטרה פילטריה לסוגיהם, והפרמטרים התכנוניים כגון השטפים של סוגי המסננים השונים, זמני שהיה, מינון כימיקלים ועוד. (ג) **תהליך ההתפלה** עצמו: סוגי הממברנות של החברות המספקות, השטפים של הממברנות, השטיפות התקופתיות, תדירות הניקויים הכימיים, ועוד. (ד) **הטיפול המשלים** כגון טכנולוגיות שונות להפחתת ריכוז הבורון, והטכנולוגיות השונות להוספת אלקליניות וקשיות למים המותפלים. (ה) **יבחנו האיכויות של הזרמים השונים**: (ו) **איכות הטיפול המוקדם** בחתך של ערכי עכירות, SDI, ריכוזים של צריכת חמצן כימי וביולוגי (COD ו-BOD) ופוטנציאל התפתחות אילוח על פני הממברנות. (ז) **איכות המים המותפלים** משלבי ההתפלה השונים ובעקר ריכוזי כלורידים ובורון. (ח) **איכות הטיפול המשלים** ובעיקר ריכוזי בורון וכלורידים במים המסופקים וכמו כן, עמידה בתקנים שנקבעו על ידי ועדת עדין, ועמידה בדרישות התקנות לאיכות מי השתייה כפי שנקבע בחוק בריאות העם.
- איסוף המידע יבוצע בידי חברת הייעוץ ממפעילי מתקני ההתפלה השונים, כולל ביקור במתקנים אלו.

- איסוף המידע יכול גישה לשרטוטי המערך של כל מתקן, ובאמצעותו בחינת האפשרות המאוד מועדפת שמתקני הוספת מגנזיום למים המותפלים יהיו בתחום הגדר של כל מתקן. היתרונות ברורים: שמירה והגנה על המתקנים, אספקת זרמים כנדרש על ידי כל טכנולוגיה להוספת מגנזיום, שיתוף של מפעילים, אספקת חשמל, העברת אינפורמציה דיגיטלית, מחסנים ועוד.

שלב א'5 - סקירת חלופות טכנולוגיות להוספת מגנזיום למים, כולל דרישות תשתיות, עלויות הקמה ותפעול

- הטכנולוגיות השונות להוספת מגנזיום למים מותפלים יבחנו הנדסית וכלכלית וזאת על ידי איסוף מידע מהאינטרנט וכמו כן קשר עם מומחים בתחום הן מהאקדמיה בארץ והן מזו בעולם, וכמו כן מחברות שמתמחות בנושא.
- הפרמטרים הטכנולוגיים שמפורטים להלן יבחנו: (א) מידת החוסן של הטכנולוגיה ותקלות אפשריות בה. (ב) הזמן שיידרש להפעלה מחדש לאחר דימום, כך שלא ייווצר מצב שבו מתקן התפלה משותק מכוון שמתקני הוספת המגנזיום מושבתים. (ג) הדרישות לתחזוקה. (ד) זמינות חומרי הגלם-האם זמינים בישראל או שיש צורך ביבוא. (ה) דרישות אחסון לחומרי הגלם. (ו) הוספה אפשרית של כלורידים ובורון למים המסופקים. (ז) הוספה אפשרית של קשיות ואלקליניות למים המסופקים. (ח) שינויים אפשריים בהגבה ובפוטנציאל השיקוע של אבנית קרבונטית (CCPP). (ט) שינויים אפשריים בטעם ובצבע של המים המסופקים. (י) הוספה אפשרית של מיקרואורגניזמים למים המסופקים. (יא) הוספה אפשרית של מיקרו מזהמים כגון ארסן, מתכות כבדות וכ"ה כך שהמים המסופקים לא יהיו בהתאם לתקנות מי שתיה בהתאם לחוק בריאות העם. (יב) ובנוסף מידת הבשלות של הטכנולוגיה והניסיון שנרכש אייתה בארץ ובעולם.
- הפרמטרים הכלכליים שיבחנו יהיו: (א) הוצאות הון לפי ריבית הניכיון המקובלת בישראל. (ב) הוצאות הפעלה קבועות: כוח אדם נדרש בפילוח לסוגי המקצועות השונים, דרגת האוטומציה (חיסכון בכוח אדם) חלקי חילוף, שמירה, וכ"ה. (ג) הוצאות הפעלה משתנות: אנרגיה לכל גרם מגנזיום ולכל מ"ק מסופק, צריכת כימיקלים לכל גרם מגנזיום ולכל מ"ק מסופק, צריכת חומרים מתכלים כאשר המתקן בפעולה, וכ"ה. (ד) זמינות המתקן (plant factor) - מספר ימי הפעולה בשנה ביחס ל 365 ימים.
- מוצע שהקריטריון הכלכלי להשוואה בין החלופות יהיה (עלות \ למ"ק מותפל), קרי, העלות השנתית להקמה ותפעול מערכת להוספת מגנזיום במיליוני ש"ח, חלקי כמות המים המותפלים השנתית במיליוני מ"ק.

שלב א'6 – דוח ביניים, המשוואה איכותית וכמותית (עלות) אי-הוספת מגנזיום למים, מול חלופות טכנולוגיות להוספת מגנזיום ומתן המלצה לעריכת פיילוט

- ריכוז כלל העבודה בשלבים א'1 - א'5 בדוח ביניים שיוגש למזמין.
- הדוח יאפשר השוואה איכותית וכמותית בין חלופת אי-הוספת מגנזיום למים (המשך מצב קיים) אל מול חלופות טכנולוגיות ישימות להוספת מגנזיום והתרומה הכמותית למשק מהוספת המגנזיום. בשלב זה, מוצע שהשוואה הכמותית תהיה לפי העלות (ש"ח/למ"ק מותפל) לאי-הוספת מגנזיום אל מול חלופות להוספת מגנזיום למים.
- לאחר ביצוע הסקרים, ובכפוף לאישורם על ידי המזמינה תבחר חברת הייעוץ בטכנולוגיות המועדפות לבחינה בפיילוט ותתעדף אותם על פי מדדים ברורים ומוגדרים: (א) מדדים טכנולוגיים הנדסיים כפי שתוארו בשלב קודם. (ב) מדדים תפעוליים ובעיקר רמת הקשיים התפעוליים הצפויים כגון השבתות תכופות, ריכוזי מגנזיום משתנים (מתנדנדים) במים המסופקים וכ"ה. (ג) מדדים כלכליים שמנורמלים לעלות צפויה לכל הוספה של גרם מגנזיום למים המסופקים ולכל מ"ק מים מסופקים.
- המדדים מעלה יקבעו תוך התייעצות עם הגורמים הרלוונטיים במתקני התפלה. חברת הייעוץ תציג בפני ועדת ההיגוי ובפני WDA את ממצאי המידע שהתקבל ביחד עם הניתוח שמדרג את הטכנולוגיות לפי סולם עדיפויות ככתוב מעלה. חברת הייעוץ תמליץ בפני גופים אלו לגבי הנושאים כדלהלן: (א) גודל/תפוקת המתקן בכדי לקבל פרמטרי גמלון מיצגים. (ב) משך פעילות המתקן בכדי לקבל פרמטרי גמלון בהתאם לחוקי הגמלון כך שניתן יהיה לתכנן את המתקנים המסחריים ברמת בטחון גבוהה ככל שניתן. (ג) אתרים אפשריים להצבת הפיילוט.
- בהתאם לדרוג החלופות לפי המפתחות, תבחרנה עד 3 חלופות טכנולוגיות עבורם יבוצע פיילוט וקביעת מתקן או מתקני ההתפלה בהם יבוצע פיילוט.
- בנוסף, הדוח יכול המלצות למשך תפעול הפיילוט, מתקני התפלה בהם ניתן למקם את הפיילוט, הטכנולוגיות שיבחנו במתקני ההתפלה השונים, מידת מעורבות המתפלים בבחירת היזום לביצוע הפיילוט וביצוע הפיילוט עצמו.

הערה: נראה שאין מנוס אלא להציב את הפיילוט בתוך גדרות מתקן התפלה מסחרי ופועל מכוון שבעקף הפיילוט יזדקק לזרמים שונים מממתקן ההתפלה, אבל גם שירותים שונים כגון אספקת חשמל, תקשורת גל"ן, שמירה, פינוי פסולת וזרמי שפכים וכ"ה כפי שכבר נכתב במסמך זה. לצורך זאת יהיה צורך במו"מ מסחרי עם הבעלים של מתקני ההתפלה השונים עד לחתימה על הסכם הצבה של הפיילוט בגבולות מתקן ההתפלה ובנוסף, ורצוי ביותר הסכם שיתוף פעולה בנושאים כגון הפעלה, מחסנים, לוגיסטיקה, וכ"ה.

שלב ב' – סיוע למזמין באפיון מסמכי המכרז לביצוע פיילוט

- חברת הייעוץ תמליץ כיצד לנסח את מסמכי התהליך לבחירת היזם/ים שיבצע את הפיילוט ולהתקשרות עמם. המסמכים יבאו לאישור ודיון ועדת המכרזים.
- **הערה:** הגיוני שלפני הכנת ופרסום מסמכי ההליך, תגיע חברת הייעוץ לאחר מו"מ עם בעלי האתרים ההתפלה השונים להסכמות חוזיות בדבר הצבת הפיילוט בתחומי האתרים וכמו כן את כל מגוון האספקות והשירותים שיתנו האתרים השונים לפיילוט שיוצב בתחומן. אחרת היזם/ים לביצוע הפיילוט לא יוכלו כלל לקבוע את תקציב הפיילוט, משך וצורת הפעלתו, וכמובן את אתר ההתפלה שבו יוצב הפיילוט. פנייה ליזם/ים לאחר שכל הנקודות מעלה הובהרו וזמינים לעיון יקלו מאד על היזם/ים ויאפשרו לו לתת הצעת מחיר. כמו כן משך הזמן עד להפעלת הפיילוט יקוצר בהרבה. זאת כנראה הכוונה בסעיף 2.1.2 של המסמך.
- חברת הייעוץ תמליץ מהן דרישות הדיווח, עיבוד והעברת הנתונים לגופים השונים וביניהם הועדה הממשלתית הבין-משרדית ו-WDA. החומר יועבר באמצעות המדיה המגנטית בדיסקטים ובאאוטלוק, וכמו כן בדוחות כתובים.
- קריטריונים טכנולוגיים כלכליים לבחירת היזם/ים הוצגה כבר במסמך זה.
- **קביעת תנאי סף למשתתפים:** (א) חברת הייעוץ, תמליץ בפני המזמינה האם היזם/ים לביצוע הפיילוט יהיה מבין זכייני מתקן ההתפלה או יכול שיהיה גם גורם אחר. (ב) החברה לביצוע הפיילוט תוכל להיות מבין זכייני מתקן ההתפלה, בתנאי שהצעת החברה תהייה ראויה מבחינת הקריטריונים הטכנולוגיים והכלכליים שהוגדרו בעבודה זו. (ג) גורם אחר יוכל לבצע את הפיילוט בתנאי שלאחר מו"מ עם זכייני מתקן ההתפלה, יש בידו הסכם לאספקת זרמי תהליך ומכלול שירותים מזכייני מתקן ההתפלה. (לחילופין הסכם כזה על ידי חברת הייעוץ כפי שהוצע מעלה).
- **עומס ההפעלה,** והיקף מתקני ההתפלה עשויים לתת תעדוף לחלופה השנייה. חברת הייעוץ צריכה ללבן נושא זה עם זכייני מתקן ההתפלה, בהתייעצות עם הועדה ועם WDA.
- **חברת הייעוץ תמליץ ותציג בפני המזמינה את הדרישות הטכניות** להקמה של הפיילוט ותפעולו. ההמלצות יתייחסו בין היתר ל: (א) גודל הפיילוט בכדי לקבל גמלון למתקן המסחרי בהתאם לנוהלי גמלון מקובלים. (ב) ממשקים עם מתקן ההתפלה. (ג) שירותים שמתקן ההתפלה יספק. (ד) איכות כימית ותברואתית של מי המוצר מהפיילוט. (ה) פינוי זרמי שפכים מהפיילוט. (ו) חומרי מבנה הכרחיים. (ז) כוח אדם לתפעול, בהקשר עם רמת האוטומציה של הפיילוט. (ח) בדיקות מעבדה (לא על חשבון חברת הייעוץ). (ט) הגשת חומר טכני על ידי ספק הפיילוט.
- **חברת הייעוץ תמליץ על היקף, צורת ואופי הדיווח** הנדרש מהיזם/ים: צורת הדיווח תהייה אלקטרונית / מגנטית. מטרת הדיווח ופרקי הזמן בין דיווח לדיווח יהיו כך שלוועדה, ול-WDA יהיו כל האמצעים לדעת בזמן אמת מה מצב הפיילוט, התקדמותו, תקלות אפשריות, וביצוע מטלותיו כפי שנוסחו על ידי היזם.
- חברת היזום תכין אומדן תקציבי לביצוע הפיילוט לאחר קבלת כל המידע מהיזם ולאחר בחינה שהפיילוט מספק גמלון לגבי המתקן המסחרי בהתאם לדרישות מקובלות לנוהלי גמלון.

שלב ג' – סיוע למזמין בבחירת זוכה

- סיוע לוועדת המכרזים בבדיקת הצעות והערכתן, משיקולי, עמידת המציעים בתנאי סף, בחינת איכות ההצעה, מתן חוות דעת למזמין.

שלב ד' – פיקוח על העמדת פיילוט

- לאחר בחירת היזם/ים לביצוע הפיילוט ותפעולו תלווה חברת הייעוץ את הליכי התכנון וההקמה.
- עריכת פגישות עם היזם וסיוורים באתר פיילוט, לפני ובמהלך הקמתו, לבדיקת התאמת הפיילוט לדרישות הטכנולוגיות שהוגדרו לבחינה. כולל עריכת דוחות פגישה וביקור שיוגשו למזמין.

- באשר לקביעת נקודות ההשקה, והשירותים שיינתנו לפיילוט על ידי אתר ההתפלה - דעת כותב מסמך זה שאלה צריכים להיות מסוכמים מראש כך שבשלב בחירת הזוכה בפיילוט תהייה בידי כל האינפורמציה בכדי שיוכל לקבוע הצעת מחיר ולוח זמנים לביצוע ולהרצה.
- חברת הייעוץ תוודא שבידי היזם כל האישורים הסטטוטוריים לביצוע העבודה. בתלות בטיב השפכים מהפיילוט יתכן ויהיה צורך לקבל את אישור המשרד לאיכ"ס.
- יודגש שהאחריות להכנת תכניות ביצוע, רישוי, מינוי קבלן ביצוע, פיקוח צמוד ופיקוח העליון, כנדרש לפי חוקי הבנייה, הינם באחריות היזם הזוכה של מתקן הפיילוט.

שלב ה' – פיקוח על תפעול פיילוט וקבלת נתוני פיילוט

- עריכת פגישות עם היזם וסוירים באתר פיילוט, במהלך הפעלתו, לבדיקת התאמת תפעול הפיילוט לדרישות הטכנולוגיות והתפעול שהוגדרו לבחינה.
- ביסוס ערוץ העברת נתוני תפעול שותפים מיזם הפיילוט, וניתוח הנתונים מבחינת המדדים לבחינת הטכנולוגיה כפי שנקבעו בשלב ב'.

שלב ו'1 – סיכום נתוני הפיילוט

- ניתוח הנתונים שנאספו ממתקן פיילוט, מבחינת עלויות להקמה ולתפעול לקביעת עלות סגולית להוספת מגנזיום באמצעות הטכנולוגיה (ש"ח/מ"ק).
- ניתוח יעילות ושימויות הטכנולוגיה, בהתאם לדרישות שטח בפועל, וריכוז המגנזיום ביציאה מהמתקן.

שלב ו'2 – דוח ביניים, ניתוח השימויות הטכנולוגיות, השוואה והמלצה על טכנולוגיה לגמלון למתקן תהליכי בגודל מלא

- בסוף תקופת הפיילוט תעביר חברת הייעוץ דו"ח ביניים לוועדה ול- WDA אשר ירכז את נתוני הפיילוט שנאספו בשלב ה', ונתחו בשלב ו'1.
- יהיה זה מסמך מפורט ביותר שיכלול את כל דוחות הביניים, הנתונים הטכנולוגיים, הכלכליים, והתפעוליים של הפיילוט. כמו כן יצוינו התקלות שצצו במהלך תפעול הפיילוט והשיטות לתיקונן.
- בנוסף יצוינו כל הפרמטרים לגמלון שנדרשים לצורך תכנון המתקן המסחרי, כולל שטח נדרש.
- יצוינו נקודות ההשקה עם אתר המתפל, סוגי הזרמים וספיקותיהם וכמו כן כל השירותים שידרשו מאתר מתקן ההתפלה.
- תבוצע השוואה, בהתאם למדדים שנקבעו בשלב ב', בין הטכנולוגיות השונות מבחינת העלות הסגולית [ש"ח \ מ"ק], מבחינת יעילות הטכנולוגיה (לדוגמא: ריכוז מגנזיום ביציאה ממתקן הפיילוט יחסית לעלות סגולית, [מג"ל \ ש"ח \ מ"ק]), ומבחינת שיקולים נוספים כגון: תשתיות תומכות נדרשות, גודל מתקן ואמינות.
- לבסוף תבוצע השוואה איכותית וכמותית (ש"ח \ מ"ק מותפל) בין חלופת אי-הוספת מגנזיום (שלב א'6) לבין חלופות טכנולוגיות להוספת מגנזיום והמלצה על חלופה טכנולוגית.

שלב ז' - דוח תכנון מתקנים ליישום מסחרי בכל מתקני ההתפלה (כולל אומדן תקציב)

- כיעד, דוח התכנון יאפשר לאשר על בסיס תקציבים למימוש מתקנים להוספת מגנזיום.
- בהתאם לחלופות הטכנולוגיות הנבחרות, עריכת דוח תכנון עקרוני למתקנים בגודל מלא, להוספת מגנזיום במתקני ההתפלה והאתרים השונים, בהתייחס לנושאים, כגון: שטח נדרש, אישורים נדרשים, מאפייני רכיבי המערכת, מאפייני תפעול, פריסה וגודל מתקנים, דרישות קדם לתשתיות נדרשות, אומדן עלויות, ואומדן תפעול, לוחות זמנים למימוש בהתאמה לתוכנית פיתוח מתקני ההתפלה עד לשנת 2050.

5. דגשים מתודולוגיים – בתחום בריאות הציבור

5.1 כללי

המתודולוגיה להערכת ההשפעות הבריאותיות העשויות לנבוע מהחזרת מגנזיום למים מותפלים אל מול אי-החזרתו, הינה סקירת ספרות מעמיקה של הספרות המקצועית הבין-לאומית והארצית בנושא. הסקירה תכלול את הנושאים הרשומים בהמשך.

5.2 סקירת ספרות בין-לאומית



- התפקיד של מגנזיום בתפקוד התקין של מערכות הגוף.
- קביעת רמות תקינות של מגנזיום בנסיוב.
- הגדרה של רמות נמוכות מדי של מגנזיום (hypomagnesemia).
- סיבות עיקריות למחסור במגנזיום בגוף האדם.
- השפעות בריאותיות הנובעות ממחסור במגנזיום בגוף האדם.
- קביעת צריכה יומית מומלצת / מינימלית של מגנזיום.
- הגדרת קבוצות בסיכון להשפעות שליליות על בריאותם בגלל מחסור במגנזיום.
- סקירה של מקורות צריכת מגנזיום ע"י בני ע אדם: (א) מזון. (ב) מי שתייה ומשקאות. (ג) תוספי תזונה.
- בחינת קשר אפשרי בין רמת מגנזיום במי שתייה ובין השפעות בריאותיות.
- המלצות של אירגוני בריאות בין-לאומיים לגבי רמת מגנזיום מומלצת במי שתייה.

5.3. סקירת ספרות ישראלית

- שיעורי הימצאות בארץ של מחסור במגנזיום בגוף האדם.
- מקורות של מגנזיום בתזונה הישראלית.
- מקורות של מגנזיום במים ממקורות שונים ובמשקאות בארץ.
- שיעורי תחלואה ותמותה בארץ ממחלות הקשורות למחסור במגנזיום / hypomagnesemia.
- אומדן של קבוצות בסיכון בארץ להשפעות שליליות על בריאותם בגלל מחסור במגנזיום.
- בחינת עדויות בארץ לעלייה בתחלואה או תמותה באזורים גיאוגרפיים שמקבלים מים מותפלים, שניתן לייחס להעדר מגנזיום במים מותפלים.
- המלצות של אירגוני בריאות ישראלים לגבי רמת מגנזיום מומלצת במי שתייה.

5.4. דין

- על סמך כל המידע שמופיע בסעיפים 5.2 ו- 5.3 לעיל, יבוצע ניתוח של המשמעות לבריאות הציבור בישראל של החזרת מגנזיום למים מותפלים לעומת אי-החזרתו. כמו-כן, ידונו חלופות למניעת חסר צריכה של מגנזיום באוכלוסיות שונות בישראל.

6. דגשים מתודולוגיים – בתחום יועץ כלכלי

6.1. כללי

- בהתאם לשלבי העבודה שפורטו לעיל, ישולב ניתוח כלכלי שיבחן את החלופות השונות שינתחו במסגרת העבודה ויציג בידי מקבלי ההחלטות את המשמעות הכלכלית למשק לאי-תוספת המגנזיום וכן לכל אחת מן החלופות שיבחנו להוספת המגנזיום.
- כמו כן, במסגרת הניתוח הכלכלי בשלב א'4 ו-א'5 ינתחו בצורה ראשונית ההיבטים המסחריים הנוגעים לשילוב ויישום הפיילוט במסגרת מתקן התפלה המופעל ע"י זכ"ן פרטי בשיטת ה-PPP.
- ככל, הניתוח יקיף שני היבטים משלימים:
 - היבט תקציבי / כלכלי - אומדני עלויות הקמה והפעלה לכל חלופת מימוש לרבות ההשפעות החיצוניות המשקיות הצפויות מיישום החלופה (כגון בריאות, ירידת בלאי אפשרית של צינורות וכיו"ב).
 - היבט מסחרי – אופן יישום החלופה, שיטת המימוש וההשלכות הצפויות ביחס להתקשרויות קיימות. לראייתנו להיבט המסחרי חשיבות מכרעת בניתוח החלופות. לא די בעלות הכלכלית ע"מ ליישם את הפתרון המומלץ אלא נדרש לנתח את הישומות המסחריות של מימוש חלופה כלשהי לאור מבנה משק המים המותפלים במדינת ישראל והיקף מפעלי ההתפלה הנמצאים במסגרת חוזית זכיינית.

6.2. עיקרי המתודולוגיה לניתוח ההיבטים התקציביים / כלכליים



- הגישה הכלכלית שמועצת ליישם היא הערכה כלכלית "הערך הכלכלי המלא" (Total Economic Value¹). לפיה, ניתנת הערכה כלכלית לאי-תוספת מגנזיום ולכל חלופה טכנולוגית לתוספת המגנזיום לכלל התועלות/עלויות הישירות ולכלל התועלות/עלויות עקיפות (סביבתיות, בריאותיות), שחלקן אינן מקבלות ביטוי באמצעות מנגנון שוק קונבנציונלי ("ערך שוק") וזאת בגלל היעדר מנגנון שוק כאמור שמגלם את התועלות והעלויות, כפי שקורה בשוק הסחורות של מוצרי הצריכה.
- במסגרת ניתוח החלופות הטכנולוגיות, יבחנו עלויות מחזור החיים (LCC – Life Cycle Cost), החל מעלויות הקשורות בהקמה / רכש, דרך עלויות הקשורות בהפעלה השוטפת וכלה בעלויות הגריטה של הפרויקט.
- במסגרת ניתוח אי-תוספת המגנזיום, יבחנו כלל העלויות המשקיות לרבות מניעת אובדן חיי אדם, תחלואה, הוצאות רפואיות וכן תיבדק ההיתכנות בהקשר של ירידת פחת ובלאי של צינורות שעשויות לנבוע משינוי בקשיות המים. לצורך כך, תיעשה בדיקה לגבי שווי חיי אדם ו/או ירידה בתוחלת החיים בעקבות השימוש במגנזיום ועלות זו תתורגם לשווי תוצר למשק הלאומי. כמו כן, יעשה שימוש בעבודות הדנות בשווי "חיי אדם" כגון אלו של מודלים למניעת תאונות דרכים וכיו"ב.
- תבוצע אבחנה בין מחירים פיננסיים (המכונים גם "מחירי שוק") למחירים כלכליים, שהינם נטולי מיסים וסובסידיות. התוצאות תוצגנה הן באמצעות מחירי השוק והן באמצעות המחירים הכלכליים למשק הלאומי וזאת על מנת לבדוק את ההשפעה המשקית הבלתי תלויה של הפרויקט.
- תיבדק האפשרות של שימוש בשיטת MCA (Multi criteria analysis), אשר במסגרתה נלקחים בחשבון גורמים כלכליים, וכן גורמים נוספים איכותיים שמעצם טיבם קשה לכמת אותם במונחים כספיים. גורמים אלו כוללים, גורמי שוויון בין שכבות של האוכלוסייה, מתן רמת שרות אחידה לתושבים וכיו"ב.
- בחינה והמלצה על אורך תקופת ההערכה הכלכלית הרלוונטית לכל חלופה כפונקציה של אופייה והיקפה.
- ניתוח רגישות עבור ההנחות המרכזיות שיבחרו לצורך כך תוך שקלול ההסתברות לסטייה מההנחה וחשיבותה בניתוח הכלכלי.
- הערכת הסיכונים תתחשב בטכנולוגיות המיושמות במקומות שונים בעולם. לצורך כך, יקבעו מרכיבים עלות בלתי נצפית מראש (להלן: בני"מ) שיביאו לידי ביטוי היבט זה.
- הניתוח הכלכלי יבוצע תוך שימוש במדדים הכלכליים המקובלים: NPV - ערך נוכחי נקי (גם כלכלי וגם פיננסי), IRR - שיעור תשואה פנימי ויחס תועלת עלות (כלכלי ופיננסי).

6.3. עיקרי המתודולוגיה לניתוח ההיבטים המסחריים

- לאור אופי השוק וריבוי המפעילים הפרטיים של מתקני ההתפלה במדינת ישראל, בחינת הסביבה המסחרית לכל חלופה הינו הכרחי.
- הסכמי הזיכיון החתומים ע"י מדינת ישראל באמצעות ה-WDA מגדירים את המסגרת המסחרית הרלוונטית לכל מתקן התפלה ולאורם יבוצע הניתוח. הניתוח יתייחס למגוון ההיבטים המטופלים במסגרת הסכמי הזיכיון וחלוקת הסיכונים מול הזכיינים ובעיקר מנגנוני הוראות השינוי וההשלכות האפשריות על מנגנון הזמינות והפיצויים מוסכמים.
- יבחנו הסכמי הזיכיון לפרויקטים הרלוונטיים ותוצגנה המשמעויות הראשוניות משילוב פיילוט זה בתחומן.

6.4. פיתוח מודל פיננסי (בפורמט אקסל):

- בהתבסס על הערכת עלות/תועלת, ייבנה כלי חישובי עם ממשק למשתמש (בפורמט אקסל) שיאפשר מתן ביטוי כמותי לסעיפי העלות (תועלת) הישירות, עקיפות, פנימיות וחיצוניות שייסקרו.
- הכלי החישובי יכלול ממשק להכנת נתוני קלט הדרושים לצורך הערכת העלות והכנת האומדן התקציבי.
- הכלי החישובי ייבנה באופן מודולרי כך שניתן יהיה להוסיף רכיבי עלויות נוספים בהמשך. הכלי החישובי ייתן ביטוי מהוון לסעיפי העלות על ציר הזמן ויאפשר גמישות לא רק בצד הוספת רכיבי עלויות נוספים, אלא גם אפשרות לעדכון ערכי היחידה (יחידת תועלת, או לחילופין: יחידת נזק) על ציר הזמן.
- כדוגמא, התייקרות המגנזיום או התייקרות האנרגיה יקבלו ביטוי בערך האומדן התקציבי למימוש החלופה.
- גידול האוכלוסייה בסביבת מקור המים תביא לביקוש הולך וגדל למים, שיקבל ביטוי בפריסה על ציר הזמן.
- היועצים יבחנו את כדאיות השימוש במודל הנמצא ברשותם, אשר בונה את תחזית מחירי החשמל במשק.

¹ Economic valuation of environmental and resources costs and benefits in the water framework directive, technical guidelines for practitioners, EU funded AquaMoney (2009)



נספח ב' - סיכומי דיון בנושא טכנולוגיות להוספת מגנזיום

תהל מהנדסים יועצים בע"מ • תכנון המים לישראל בע"מ • רח' אריק אינשטיין 5 אור יהודה 6037505 • www.tahal.com
חטיבת הנדסה – תכנון כללי ותכניות אב • טל" 03-6924678 • פקס: 03-6924550 • דוא"ל: EyalP@tahal.com



פגישה עם חברת טכנולוגיות לשימור הסביבה בע"מ		נושא
24/07/2018	תאריך פגישה	תהל
מר יחיאל מנוחין – מנכ"ל, טכנולוגיות לשימור הסביבה גב' חגית חימוביץ – סמנכ"ל כספים, טכנולוגיות לשימור הסביבה פרופ' חיים שיינדורף – סמנכ"ל טכנולוגיות, טכנולוגיות לשימור הסביבה פרופ' אורי להב – טכניון ד"ר ליאת בירנהק – טכניון ד"ר אייל פרייס – תהל מר ניסים נדב – תהל		משתתפים
24/07/2018	תאריך הדפסה	אייל פרייס
סטטוס : הפצה מס' 2		נרשם ע"י

מטרת הפגישה

הצגת טכנולוגיה להוספת מגנזיום למים מותפלים.

עיקרי הדברים

1. תהליך UF-NF-DiaNF

- 1.1. עיקרון התהליך הינו חילוץ סלקטיבי של מגנזיום ממי ים.
- 1.2. מקור המים הוא מי ים לאחר הטיפול המקדים במתקן התפלה (מסנני מצע, אולטרה-פילטריציה או טיפול מקדים אחר).
- 1.3. התהליך מבוסס על מספר יחידות ננו-פילטריציה בטור. ננו-פילטריציה מתאפיינת בכך שהממברנות דוחות יונים דו-ערכיים, אבל מעבירות דרכן יונים חד-ערכיים ובורון בכל תצורתו (חומצה בורית ובורט). בנוסף, נעשה שימוש בממברנה בטווח שבין UF ל NF אשר הדחייה שלה היא בעיקר ליון הסולפאט וזאת במטרה להקטין יחס קשיות כללית לסולפאט (TH/SO4).
- 1.4. בשלב מקדים מחמיצים את מי הים המטופלים לכ- pH=6. החמצת מי הים נועדה למנוע שיקוע של מוצקים קרבונטים על פני הממברנות, על ידי המרה של המערכת הקרבונטית לצורונים החומציים, היינו חומצה קרבנית וביקרבונאט.
- 1.5. בשלב ראשון מתבצע סינון NF סטנדרטי שמטרתו לרכז את המגנזיום, ביחס השבה כ- 60%-65%. ביציאה מתקבל יחס $Na/Mg = 2.5$ (כאשר בים יש יחס של 8 משקלי). לחץ הכניסה לממברנה הינו 15 עד 25 בר. הגורם המגביל את יחס ההשבה בשלב זה הינו פוטנציאל השיקוע של גבס על הממברנה. לצורך זה מוסיפים גם אנטיסקלנט להקטנת פוטנציאל השיקוע.
- 1.6. בשלב הבא מסחררים את הרכז מהשלב הקודם, דרך ממברנות NF תוך כדאי הוספת מים בעלי TDS נמוך (בשלב שנקראה Dia, DiaNF – במשמעות של שטיפה). הפרמיאט היוצא משלב זה מכיל סודיום וכלורידים (ללא מגנזיום, סידן וסולפאט) ולכן היחס בין המגנזיום לכלורידים ברכז הולך ועולה. היחס ברכז תלוי בספיקת המים המותפלים (היינו ביחס המיהול). ככל שספיקתם גדולה יותר, כך היחס מגנזיום כנגד כלורידים גבוה יותר. מבחינת יון הנתרן מגיעים ליחס נמוך, ומבחינת הכלורידים מגיעים לאסימפטוטה שנובעת מעיקרון האלקטרוניטרליות.
- 1.7. בכדי להתגבר על ה"הפרעה" של האלקטרוניטרליות, מוסיפים שלב נוסף בתחילת התהליך. הממברנה בה נעשה שימוש בשלב זה הינה פתוחה יחסית לממברנות NF אך טעונה שלילית, לכן היא דוחה היטב את יון הסולפאט (שגם הוא טעון שלילית). לעומת זאת, הדחייה שלה לסידן ומגנזיום נמוכה מאוד. יחס השבה בשלב זה כ- 80%, שבהם דחית הסולפאט גדולה יותר מדחיית היונים הדו-ערכיים קלציום ומגנזיום (יון הסולפאט עטוף בענן חשמלי שלילי ולכן נדחה טוב יותר על ידי הממברנות). כאשר מוסיפים שלב זה, ניתן להגיע ביציאה מהתהליך (לאחר DiaNF) ליחסים הבאים

יחס $TH/SO = 0.96$, יחס $Cl/Mg = 0.26$ ויחס $Na/Mg = 0.18$. דהיינו אם מוסיפים 20 מג"ל מגנזיום למים, יתווספו למים בנוסף כ- 6 מג"ל כלורידים.

1.8. בסיום התהליך מי המוצר עוברים סינון UF, במטרה להרחיק וירוסים וחיידקים (דרישה שאינה קיימת לגבי הוספת סידן ואלקליניות מקלצית, ולכן יתכן שיהיה ניתן לוותר על אבן תהליך זה). שלב זה יכול להפריד מתמיסת המגנזיום (תוצר התהליך) את האנטיסקלנט המוסף בתהליך. אולם, כיוון שמדובר באנטיסקלנט באיכות food grade, וכיוון שמינונו למים המותפלים (התוצר הסופי) הינו זניח, ייתכן שהרחקתו אינה הכרחית.

2. מתקן תהליכי בגודל מלא

2.1. ביציאה ממתקן בגודל המלא ריכוז המגנזיום יהיה כ- 4,000 מג"ל מגנזיום (בליווי של כ- 6,000 מג"ל כלורידים), אשר ימהל עם מי המוצר ממתקן ההתפלה לקבלת 20 מג"ל מגנזיום ותוספת של כ- 30 מג"ל כלורידים. תוספת הכלורידים הצפויה נעה בין 6 מג"ל (התהליך המלא המתואר מעלה) לבין 30 מג"ל, בתהליך מקוצר, שאינו כולל את השלב המקדים (ממברנת UF סגורה) וכולל שלושה מחזורי שטיפה בלבד, בשלב ה DiaNF. לריכוז הכלורידים הנדרש במים המותפלים המסופקים השפעה ישירה ומובהקת על העלות הכוללת של הוספת המגנזיום למים.

2.2. ספיקת תמיסת המגנזיום תהיה 1:200 מספיקת מתקן ההתפלה. אם הספיקה הנומינלית של מתקן התפלה בגודל 100 מלמ"ק/שנה, היא כ- 15,000 מק"ש אזי ספיקת תמיסת המגנזיום בריכוז 4,000 מג"ל תהיה כ- 75 מק"ש.

2.3. קרוב לוודאי שהמתקן יסופק במכולות סטנדרטיות.

3. בשלות טכנולוגית

3.1. כרגע הטכנולוגיה נבחנה במעבדה בטכניון, במתקן חצי חרושתי (ממברנת 4 אינש בודדת).
3.2. מתוכנן מתקן בגודל מלא לכמות שנתית של כ- 800,000 מק"ש/שנה מים מותפלים במעגן מיכאל. מקור המים למתקן המגנזיום יהיה מהים. מתקן המגנזיום יהיה בגודל כ- 0.6 מק"ש, בריכוז כ- 4000 מג"ל מגנזיום. ריכוז יעד של 20 מג"ל מגנזיום ביציאה ממתקן ההתפלה. הפיילוט מתוכנן לקום עד סוף השנה 2018.

4. עלות תפעול

4.1. בהתאם לחישובים תיאורטיים תהליכים, עלות הוספת המגנזיום למים תהיה כ- 10 אג"מ/ק מים מותפלים.
4.2. עלות זו כוללת את עלות רכישת המים ממתקן ההתפלה.

5. השלמות מידע

5.1. נבקש מבעלי הטכנולוגיה הכנת דוח הנדסי מסודר המרכז את הנושאים הבאים:
5.1.1. יש לתאר בפרוטרוט את השיטה או התהליך המוצע, כולל תזרים תהליך עקרוני וגודל שטח (עקרוני) שנדרש למתקנים.
5.1.2. יש לציין מהם חומרי הגלם הנדרשים, האם הם זמינים בישראל, או מקורם בחו"ל, ואם כן מהו מקור האספקה. מהם דרכי השינוע, והאחסון של חומרי גלם אלו.
5.1.3. מהי רמת ה"בשלות" של הטכנולוגיה, האם הופעלה במתקנים מסחריים או רק במתקני ניסוי. מה מספר השעות בכל אחד מאלה. תקלות שקרו במהלך ההפעלה.
5.1.4. מהי התחזוקה שתידרש, ומהי רמת הזמינות הצפויה (plant factor).
5.1.5. תיאור ממשקים וכמויות נדרשות ממעלי תשתיות (לדוגמא מי גלם ממתקן ההתפלה, הזנות חשמל נדרשות, גז טבעי, מים).

5.1.6. מחיר הוספת המגנזיום,

- א. ההשקעה ההונית המוערכת לכל מ"ק מים מסופקים בגין הוספת המגנזיום : לחשב לפי 30 מג"ל מגנזיום לכל מ"ק מים מותפלים ברמת זמינות בהתאם לסעיף מעלה.
- ב. מתווה התקשרות מקובל וחלוקת הסיכונים המקובלת.
- ג. הוצאות הפעלה קבועות.
- ד. הוצאות הפעלה משתנות : צריכת חומרי גלם, צריכת חשמל. בצריכת חשמל יש להציג את מקדם הצריכה הסגולי ולהביא בחשבון מחיר חשמל של 0.37 ש"ח/קו"ש.
- ה. אורך חיים כלכלי של הפתרון המוצע.
- ו. השקעות חד-פעמיות מהותיות הנדרשות על פני אורך החיים הכלכלי, משתנות וקבועות.
- ז. הנחות מהותיות נוספות שיש בעיני הנענים בכדי להשפיע על הכדאיות הכלכלית והעלות הכוללת של הפתרון הטכנולוגי המוצע.

תפוצה : נוכחים

תהל מהנדסים יועצים בע"מ • תכנון המים לישראל בע"מ • רח' יהדות קנדה 5, אור יהודה • 6037505 • www.tahal.com
חטיבת הנדסה • טל' 03-6924579 • פקס: 03-6924550 • דוא"ל: EyalP@tahal.co.il



עמוד 3 מתוך 3

טכנולוגיות לשימור. <http://tahal-doc/Engineering/Project/127110/Technolgis/1>
הסביבה/הוספת מגנזיום למים מותפלים - פרוטוקול חברת טכנולוגיות לשימור הסביבה - 24-07-2018.docx

27/05/18

מקבוצת קרון



פגישה עם כימיקלים לישראל			נושא
25/07/2018	תאריך פגישה	תהל	מקום
<p style="text-align: center;">מר איציק מלול – מנהל חטיבת מינרלים מיוחדים, כי"ל. מר מוחאמד אבו אלהיג'א – מנהל טכני ומחקר ופיתוח של חטיבת מינרלים מיוחדים, כי"ל. עוזי רוזנטל – תהל ד"ר אייל פרייס – תהל מר ניסים נדב – תהל</p>			משתתפים
סטטוס : הפצה	25/07/2018	תאריך הדפסה	ניסים נדב ואייל פרייס

מטרת הפגישה

הצגת טכנולוגיה להוספת מגנזיום למים מותפלים.

עיקרי הדברים

1. הקדמה

1.1 הפגישה החלה בסקירה של איציק מלול על שיווק של מגנזיה לחברות בתחום הפרמה, כגון באייר, פיזר, ואחרים וכמו כן בתחום המזון בהיקף כ- 15,000 טון לשנה מלחי מגנזיום בעיקר מגנזיום אוקסיד, בהיקף של עשרות מיליוני דולר לשנה. סך כל המכירות למוצרי מגנזיה מגיעים לסדר גודל של 35 אלף טון לשנה.

1.2 מלחי מגנזיום לחברות תרופות, וחברות מזון מאושרים על ידי ה FDA. יש לבחון את הרגולציה לתוספים למים מותפלים.

1.3 ההנחה של כי"ל הינה שיש לשמור על רמת הקשיות הנוכחית גם לאחר הוספת המגנזיום, דהיינו להוריד קלציום ולהוסיף מגנזיום. כדאי לבחון שימוש קלציט אבקתי בדומה למגנזיום הידרוקסיד או אוקסיד. נושא זה דורש בחינה.

1.4 תוספת מגנזיום למים נדרשת לבחינה בריכוזים 20 מג"ל ו- 30 מג"ל.

1.5 נדון תהליך קבלת מגנזיום הידרוקסיד רטוב מתחתית מסמך.

1.6 כי"ל מייצרת מגנזיום הידרוקסיד ומגנזיום אוקסיד בפריקלאס מחומר הגלם שבא מים המלח ובאמצעות אנרגיה מגז טבעי.

1.7 להערכת איציק מלול עלות הוספת מגנזיום למים מותפלים בהיקף של 30 מג"ל תביא לעלות של כ- 30 אגורות למ"ק, וזאת בהסתמך על מחיר פריקלס של 2 דולר לטון, לא כולל הובלה. עלות זו הינה ראשונית בלבד, ותבחן באמצעות פיילוט שבהקמה במפעל תמ"י.

1.8 את הפריקלס יהיה צורך להמיס במתקני ההתפלה באמצעות פחמן דו-חמצני. בחלק מהתהליכים הקיימים אפשר לבחון נטרול והרמת pH באמצעות מגנזיה במקום סודיום או קלציום הידרוקסיד.

1.9 נראה שהמחיר של 30 אגורות למ"ק מים מותפלים, איננו כולל שלב החמצה זה ויש להוסיף עליו הוצאות נוספות. עלות זו הינה ראשונית בלבד, ותבחן באמצעות פיילוט שבהקמה במפעל תמ"י.

- 1.10. כ"ל בוחנים את ישימות התהליך עם מגנזיום הידרוקסיד רטוב על מנת להזיל עלויות.
- 1.11. כ"ל תעביר עלות כוללת של הוספת מגנזיום למים, כולל השקעות והוצאות תפעוליות. הכל יגולם בעלות למ"ק מים. היות וכ"ל עובדים על התהליך בפיילוט ולא יהיו תוצאות תוך חודש, תינתן הערכה לטווח של עלות למ"ק.
- 1.12. ההערכה לכמויות מגנזיום הידרוקסיד רטוב הינה כדלהלן:
 תפוקה יומית ממוצעת של מתקן התפלה: כ 400,000 מ"ק יממה
 צריכת מגנזיום בהנחה של הוספת 30 מג"ל: $400,000 * 30 * 10^{-6} \text{ton/gram} = 12 \text{ ton/day}$
 משקל יוני של מגנזיום 24, וזה של מגנזיום הידרוקסיד $24 + 17 * 2 = 58$
 צריכה של מגנזיום הידרוקסיד: $12 * 58 / 24 = 30 \text{ ton/day}$
- 1.13. אחסון של תרחיף מגנזיום הידרוקסיד 50% מתבצע במיכל בחוש. הכמות הנפחית היומית הדרושה הינה 43 מ"ק של תרחיף מגנזיום הידרוקסיד בריכוז של 50% מוצקים. במקרה של מגנזיום אוקסיד, הכמות הנדרשת ליום תהיה 20 טון.

2. מתקן תהליכי בגודל מלא

- 2.1. ההמלצה של כ"ל היא לפרק את המגנזיום הידרוקסיד למגנזיום אוקסיד (MgO) מוצק, הובלת החומר למתקן ההתפלה. המסת המגנזיום אוקסיד בשילוב מערכת ההחמצה.

3. בשלות טכנולוגית

- 3.1. בתעשית המזון משתמשים בפטנט של כ"ל להמסת מגנזיום בקולונה (בריכוז PPM 1,500) להוספת מגנזיום למשקאות. אומדן העלויות להוספת מגנזיום יתבסס על תהליך זה.
- 3.2. כיום בהקמה פיילוט מחקרי במכון מחקר לכימיקלים לישראל (תמ"י).

4. עלות תפעול

- 4.1. עלות תפעול ראשוני בבחינה בכ"ל.

5. השלמות מידע

- 5.1. נבקש מבעלי הטכנולוגיה הכנת דוח הנדסי מסודר המרכז את הנושאים הבאים:
- 5.1.1. יש לתאר בפרוטרוט את השיטה או התהליך המוצע, כולל תזרים תהליך עקרוני וגודל שטח (עקרוני) שנדרש למתקנים.
- 5.1.2. יש לציין מהם חומרי הגלם הנדרשים, האם הם זמינים בישראל, או מקורם בחו"ל, ואם כן מהו מקור האספקה. מהם דרכי השינוע, והאחסון של חומרי גלם אלו.
- 5.1.3. מהי רמת ה"בשלות" של הטכנולוגיה, האם הופעלה במתקנים מסחריים או רק במתקני ניסוי. מה מספר השעות בכל אחד מאלה. תקלות שקרו במהלך ההפעלה.
- 5.1.4. מהי התחזוקה שתידרש, ומהי רמת הזמינות הצפויה (plant factor).
- 5.1.5. תיאור ממשקים וכמויות נדרשות ממעלי תשתיות (לדוגמא מי גלם ממתקן ההתפלה, הזנות חשמל נדרשות, גז טבעי, מים).
- 5.1.6. מחיר הוספת המגנזיום,
- א. ההשקעה ההונית המוערכת לכל מ"ק מים מסופקים בגין הוספת המגנזיום: לחשב לפי 30 מג"ל מגנזיום לכל מ"ק מים מותפלים ברמת זמינות בהתאם לסעיף מעלה.

- ב. מתווה התקשרות מקובל וחלוקת הסיכונים המקובלת.
- ג. הוצאות הפעלה קבועות.
- ד. הוצאות הפעלה משתנות: צריכת חומרי גלם, צריכת חשמל. בצריכת חשמל יש להציג את מקדם הצריכה הסגולי ולהביא בחשבון מחיר חשמל של 0.37 ש"ח/קו"ש.
- ה. אורך חיים כלכלי של הפתרון המוצע.
- ו. השקעות חד-פעמיות מהותיות הנדרשות על פני אורך החיים הכלכלי, משתנות וקבועות.
- ז. הנחות מהותיות נוספות שיש בעיני הנענים בכדי להשפיע על הכדאיות הכלכלית והעלות הכוללת של הפתרון הטכנולוגי המוצע.

תפוצה: נוכחים

תהל מהנדסים יועצים בע"מ • תכנון המים לישראל בע"מ • רח' יהדות קנדה 5, אור יהודה 6037505 • www.tahal.com
חטיבת הנדסה • טל" 03-6924579 • פקס: 03-6924550 • דוא"ל: EyalP@tahal.co.il



פגישה עם הפקולטה להנדסה כימית			נושא
25/07/2018	תאריך פגישה	תהל	מקום
פרופ' דוד חסון – הפקולטה להנדסה כימית הטכניון, חיפה פרופ' רפי סמיט – הפקולטה להנדסה כימית הטכניון, חיפה ד"ר הילה שמר - הפקולטה להנדסה כימית הטכניון, חיפה ד"ר אייל פרייס – תהל מר ניסים נדב – תהל			משתתפים
סטטוס : לעיון2	25/07/2018	תאריך הדפסה	נרשם ע"י ניסים נדב ואייל פרייס

מטרת הפגישה

הצגת טכנולוגיה להוספת מגנזיום למים מותפלים.

הערה: לאור הדיון, הוספה טבלה על ידי כותב פרוטוקול זה, של ריכוזי קשיות סידן ואלקליניות במים המותפלים, כפונקציה של היחסים מולריים סידן ומגנזיום. יודגש שהטבלה אינה מציגה את האלקליניות שתתקבל בפועל.

עיקרי הדברים

1. כללי

1.1. הפגישה החלה בשיחה כללית ואחריה הציג פרופסור חסון את המחקר שבוצע בפקולטה להנדסה כימית בטכניון בחיפה. מחקר זה פורסם בירחון "Desalination":
Kinetics of dolomite dissolution in a packed bed by acidified desalinated water

1.2. מחצב הדולומיט איננו תערובת של קלציט ודולומיט, אלא גביש טהור. ישנם גבישי דולומיט מסוגים שונים, עם יחסים שונים בין המגנזיום, הסידן, והקרבוט. לכן דולומיט איננו אלא שם לקבוצה של גבישים שמרכיבים ממגנזיום סידן וקרבוט.

1.3. כך לדוגמה ישנו דולומיט שנוסחתו הינה $CaMg(CO_3)_2$ שבו היחס המולרי בין סידן ומגנזיום הינו 1:1. ישנו דולומיט שנקרא גם הונטיט שנוסחתו הינה $Mg_3Ca(CO_3)_4$ שבו היחס המולרי בין סידן למגנזיום הינו פי 3 מגנזיום מסידן, דולומיט בשם קלציט/דולומיט שבו היחס המולרי הינו 0.665 מגנזיום כנגד 1.0 סידן, וכ"ה.
באופן כללי הנוסחה לגבישים השונים של דולומיט הינה:

$$X = [Ca^{+2}] / ([Ca^{+2}] + [Mg^{+2}]) \quad Ca_{2x}Mg_{2(1-x)}(CO_3)_2$$

1.4. אשר על כן התמוססות סוגי הגבישים השונים של דולומיט הינה אחידה. כאשר בעמודת מילוי של דולומיט מסוים ישנה תגובת המסה בין הדולומיט לבין מים מותפלים מוחמצים (מוחמצים על ידי דו תחמוצת הפחמן או לחילופין על ידי חומצה דוגמת חומצה גופריתנית) אזי בתמיסה בכל חתך לגובה של המילוי, נשמר אותו יחס מולרי בין המגנזיום לסידן כפי שהוא בדולומיט המוצק.
כאשר המסיסות מתקיימת עד תום אזי אין שאריות של מגנזיום או סידן, 2 אלה התמוססו במלואם בו זמנית. השארית היחידה הינו חומר אינרטי שאיננו מסיס במי מותפלים מוחמצים.

1.5. נדון נושא הקשיות הנדרשת במתקני התפלה. הוברר שהקשיות של 80 עד 120 מג"ל הינה קשיות סידן בלבד ולא קשיות כללית.

1.6. מתוך הניסויים שבוצעו בטכניון עולה שקיימת עדיפות מובהקת להמסה ב- H_2SO_4 מאשר באמצעות CO_2 .

1.7. כדוגמא - עבור המסת דולומיט ביחס מולרי 1:1.2 מקבלים ריכוז של 30 מג"ל מגנזיום (24 מ"ג/מול), ו- 60 מג"ל סידן (150 מג"ל כ- $CaCO_3$).

2. הצגת המאמר על ידי פרופסור חסון

תוצאות הניסויים המוצגות במאמר מאשרות ש:

1. התמוססות סוגי גבישי דולומיט שונים במים מותפלים מוחמצים, הינה אחידה (בכל pH), דהיינו שהיחס בין ריכוז הסידן והמגנזיום בתמיסה, זהה ליחס ריכוזם במוצק.

2. ההתמוססות של דולומיט בעמודות מילוי עם מים מוחמצים, תהיה בהתאמה טובה למודל שפיתח "ימאוצי", מודל שנבדק, נמצא מדויק, ומיושם בקנה מידה מסחרי בהמסה של קלציט עם מים מותפלים מוחמצים, בעמודות מילוי. מודל זה מיושם בהיקף נרחב בעמודות מילוי עם קלציט, להוספת קשיות סידן, ואלקליניות למים מותפלים.

3. הקינטיקה של התמוססות דולומיט, כאשר המים מוחמצים עם חומצה גופריתנית, תהיה מהירה בהרבה מאשר ההתמוססות עם מים מוחמצים בדרך תחמוצת הפחמן. יתרה מכך, כאשר המים מוחמצים עם חומצה גופריתנית אזי בגובה סביר של העמודה, יגיע ריכוז היונים בתמיסה לשווי משקל, דהיינו נפסק תהליך ההמסה. לעומת זאת שווי משקל יושג במים מוחמצים עם דו תחמוצת הפחמן רק בעמודה גבוהה מאוד.

4. לדעת אנשי תהל יש מקום לאשר את התוצאות שנבדקו בפילוט מעבדתי בטכניון בפילוט מסחרי.

נוסחאות:

פרופסור חסון הציג נוסחאות בסיסיות דלהן.

מכוון שהתמוססות קלציט ודולומיט, שתיהן הינן לפי המודל שנקרא מודל ימאוצי, אזי מתקיימות הנוסחאות הבאות:

$$\ln\left(\frac{(Ca^{+2})_{eq} - (Ca^{+2})_x}{(Ca^{+2})_{eq} - (Ca^{+2})_0}\right) = \ln\left(\frac{(Mg^{+2})_{eq} - (Mg^{+2})_x}{(Mg^{+2})_{eq} - (Mg^{+2})_0}\right) = (6K/\phi) * ((1-\xi)/D_p) * (L/U)$$

ריכוזי הסידן והמגנזיום הינם מולריים ביחידות של מילימול לליטר, הסימון $eq = \text{equilibrium}$ הסימון 0 פרושו בראש עמודת המילוי, והסימון X פרושו במרחק של X מילימטרים מראש העמודה.

where

$6K/\phi$ is the kinematic viscosity in mm/second depending upon the size and shape of the particles

ξ is the fraction of the bed porosity

D_p is the size of the particle, in millimeters, generally 3 to 5 millimeters

L is the height of the packing in mm from the top of this packing

U is the artificial velocity, the water flow rate divided by the column's cross section in mm/sec

בנוסחאות מעלה ישנם 2 נעלמים, ריכוזי שווי המשקל של הסידן והמגנזיום, וכמו כן ריכוזים אלו בתמיסה לאחר גובה מצע מסוים. ניתן למצוא את ריכוזי שווי המשקל מתוך קבוע המסיסות של מגנזיום סידן וקרבונוט במים, וקבועי השלב הראשון והשני של התמוססות חומצה קרבונטית במים.



כאשר ריכוזי שווי המשקל מחושבים, ניתן לחשב אנליטית את ריכוזי המגנזיום, הסידן, והאלקליניות, עבור גובה מצע נתון, חלקיק נתון, פורוזיות נתונה ומהירות זרימה נתונה.

סידרת ניסויי מעבדה שבוצעו בפקולטה להנדסה כימית הראו שההמסה של דולומיט בדומה להמסה של קלציט בעמודות מילוי עם מים מותפלים מוחמצים, הינה בהתאם למודל ימאוצי. כמו כן בהחמצה עם חומצה גופריתנית מגיעים לריכוז המקסימלי האפשרי של היונים השונים (כלומר ריכוז שווי משקל) בגובה עמודה סביר, ואילו בהחמצה עם דו תחמוצת הפחמן נדרשת עמודה גבוהה.

5. הופרכה בודאות הטענה הרווחת, שהוצגה במאמרו של פרופ' אורי להב, כי המסת דולומיט נעצרת ב- pH 5.9. ניתוח התוצאות המוצגות במאמרו של פרופ' להב הראה שהסיבה לעצירת ההתמוססות נעוצה בעובדה שהמערכת הגיעה לשווי משקל. העלאת ריכוז החומצה מאפשרת התמוססות נוספת. אי השגת ריכוזי התקינה ע"י פרופ' להב נבעה מהשימוש בדולומיט בעלת יחס מולרי 1:1.5

להלן טבלה ש המסה של דולומיט ביחסים שונים של סידן ומגנזיום, הטבלה מציגה חישוב סטוכומטרי שאינו מביא בחשבון את שווי המשקל בהמסה שאין באפשרותו להגדיר את האלקליניות.

Magnesium con.	Magnesium con.	X	Mg*X/(1-X)	CO3		HCO3	H2SO4 100%	Ca mass con	Ca mass con.	HCO3 mass con.
con.	con.	Molar ratio	Ca	molar con.	Molar Ratio	molar con.	molar con.		as	as
		Ca/(Ca+Mg)	molar con.		Ca/Mg				CaCO3	CaCO3
mg/liter	mmole/lit		mmole/lit	mmole/lit				mg/lit	mg/lit	mg/lit
30	1.25	0.5	1.25	2.5	1:1	2.5	1.25	50	125	125
	1.25	0.52	1.35	2.60	1:1.1	2.60	1.30	54.17	135	130
	1.25	0.54	1.47	2.72	1:1.2	2.72	1.36	58.70	147	136
	1.25	0.56	1.59	2.84	1:1.3	2.84	1.42	63.64	159	142
	1.25	0.60	1.88	3.13	1:1.5	3.13	1.56	75.00	188	156
25	1.04	0.5	1.04	2.08	1:1	2.08	1.04	41.6	104	104
	1.04	0.52	1.13	2.17	1:1.1	2.17	1.08	45.07	113	108
	1.04	0.54	1.22	2.26	1:1.2	2.26	1.13	48.83	122	113
	1.04	0.56	1.32	2.36	1:1.3	2.36	1.18	52.95	132	118
	1.04	0.60	1.56	2.60	1:1.5	2.60	1.30	62.40	156	130
20	0.83	0.5	0.83	1.66	1:1	1.66	0.83	33.2	83	83
	0.83	0.52	0.90	1.73	1:1.1	1.73	0.86	35.97	90	86
	0.83	0.54	0.97	1.80	1:1.2	1.80	0.90	38.97	97	90
	0.83	0.56	1.06	1.89	1:1.3	1.89	0.94	42.25	106	94
	0.83	0.60	1.25	2.08	1:1.5	2.08	1.04	49.80	125	104

מסקנה חשובה הינה שאם הריכוז המומלץ של מגנזיום במים יהיה 20 מג"ל אזי ניתן יהיה להמיר את הקלציט בדולומיט במתקני ההתפלה בארץ, גם אם היחסים המולריים של הסידן כנגד המגנזיום יהיו גבוהים לטובת הסידן.

שבר מולים של סידן למגנזיום של 0.6 שווה ערך ליחס מולרי של סידן למגנזיום של 1.5- מקבלים קשיות סידן של 150 מג"ל ואלקליניות (אלקליניות גדול מ 80) מבוטאים כקרבונט הסידן.

יש לבדוק עליות ואיכות של מחצבי דולומיט בארץ ובסביבה הגאוגרפית שקרובה לישראל.

מחצבי דולומיט בארץ מתוך האינטרנט הינם :

- א. מחצבת אשרת בבעלות חברת ניהול יחיד סי מרבצי דולומיט.
- ב. מחצבת בית אלפא חברת ניהול קיבוץ בית אלפא.
- ג. מחצבת גולני חברת ניהול תעשיות אבן וסיד.
- ד. מחצבת הר דרגות חברת ניהול תעשיות אבן וסיד.
- ה. מחצבת הר טוב חברת ניהול מחצבת הר טוב.
- ו. מחצבת הר שחר חברת ניהול אליקים בן ארי.
- ז. חברת ורד חברת ניהול מחצבות ורד.
- ח. מחצבת זנוח (בית שמש) חברת ניהול מחצבות ורד.

כמו כן יש מחצבות רבות בטורקיה, יוון, איטליה ועוד.

3. מתקן תהליכי בגודל מלא

- 3.1. חלופה א' - במידה וניתן למצוא דולומיט ביחס מולרי עד 1:1.2 אזי ניתן להחליף את הקלציט שכיום בשימוש במתקני ההתפלה ולהחליפו בדולומיט כולל המסה בחומצה גופריתנית.
- 3.2. חלופה ב' - הוספת עמודה של המסת דולמיט עם חומצה גופריתנית כאשר את המחזור במגנזיום עבור דולומיט בה היחס המולרי סידן למגנזיום גבוה ניתן להוסיף ע"י המסת מגנזיה (MgO) או מגנזיום הידרוקסיד $(Mg(OH)_2)$

4. בשלות טכנולוגית

כיום קיים פיילוט פעיל בטכניון להמסת דולומיט.
נדרש לבחון בצורה משמעותית מה הדולומיט שקיים בארץ.

5. עלות תפעול

5.1. כרגע לא ידוע.

תפוצה: נוכחים

פגישה עם דיפוכם עמגל		נושא
30/07/2018	תאריך פגישה	תהל
שלומי בן ארוש – מנהל חטיבת המים והשפכים, דיפוכם עמגל ד"ר נעם גרינשפון – סמנכ"ל מו"פ ופיתוח עסקי, דיפוכם עמגל דניאל שוורץ – מהנדס בכיר חטיבת המים והשפכים, דיפוכם עמגל ד"ר אייל פרייס - תהל מר ניסים נדב – תהל		משתתפים
סטטוס : להפצה	30/07/2018	תאריך הדפסה
		אייל פרייס
		נרשם ע"י

מטרת הפגישה

הצגת טכנולוגיה להוספת מגנזיום למים מותפלים.

עיקרי הדברים

1. כללי

- 1.1 דיפוכם עמגל הינה חלק מקבוצת אמיליה (Emilia), חברה ליבוא, ליצור ולאספקת כימיקלים.
- 1.2 מפעל יצור והפצה בבאר טוביה, מרלוי"ג בראם בני עיי"ש, מרלוי"ג באזור תעשייה חיפה.
- 1.3 החברה מספקת אנטי-סקאלנטים וכימיקלים נוספים למתקני התפלה - חדרה, שורק, אילת (סבחה), גרנות, להט, כולל דוחות תפעול, לאיכות כימיקלים במתקנים.

2. הוספת מגנזיום למים מותפלים

- 2.1 הנחות תכנון – מתקן התפלה 100 מלמ"ק/שנה.
- 2.2 יבוא של תמיסת Magnos אבקתי (MgO), 5,000 טון/שנתית, המסה באמצעות פחמן דו-חמצני.
- 2.3 עלות תפעול כ- 40 אג"מ"ק.
- 2.4 גודל מתקן כ- 250 מ"ר.

3. בשלות טכנולוגית

נעשו ניסיונות מעבדה להוכחת היתכנות.

4. השלמות מידע

- 4.1 נבקש מבעלי הטכנולוגיה הכנת דוח הנדסי מסודר המרכז את הנושאים הבאים :
 - 4.1.1 יש לתאר בפרוטרוט את השיטה או התהליך המוצע, כולל תזרים תהליך עקרוני וגודל שטח (עקרוני) שנדרש למתקנים.
 - 4.1.2 יש לציין מהם חומרי הגלם הנדרשים, האם הם זמינים בישראל, או מקורם בחו"ל, ואם כן מהו מקור האספקה. מהם דרכי השינוע, והאחסון של חומרי גלם אלו.
 - 4.1.3 מהי רמת ה"בשלות" של הטכנולוגיה, האם הופעלה במתקנים מסחריים או רק במתקני ניסוי. מה מספר השעות בכל אחד מאלה. תקלות שקרו במהלך ההפעלה.
 - 4.1.4 מהי התחזוקה שתידרש, ומהי רמת הזמינות הצפויה (plant factor).
 - 4.1.5 תיאור ממשקים וכמויות נדרשות ממעלי תשתיות (לדוגמא מי גלם ממתקן ההתפלה, הזנות חשמל נדרשות, גז טבעי, מים).

4.1.6. מחיר הוספת המגנזיום,

- א. ההשקעה ההונית המוערכת לכל מ"ק מים מסופקים בגין הוספת המגנזיום : לחשב לפי 30 מג"ל מגנזיום לכל מ"ק מים מותפלים ברמת זמינות בהתאם לסעיף מעלה.
- ב. מתווה התקשרות מקובל וחלוקת הסיכונים המקובלת.
- ג. הוצאות הפעלה קבועות.
- ד. הוצאות הפעלה משתנות : צריכת חומרי גלם, צריכת חשמל. בצריכת חשמל יש להציג את מקדם הצריכה הסגולי ולהביא בחשבון מחיר חשמל של 0.37 ש"ח/קו"ש.
- ה. אורך חיים כלכלי של הפתרון המוצע.
- ו. השקעות חד-פעמיות מהותיות הנדרשות על פני אורך החיים הכלכלי, משתנות וקבועות.
- ז. הנחות מהותיות נוספות שיש בעיני הנענים בכדי להשפיע על הכדאיות הכלכלית והעלות הכוללת של הפתרון הטכנולוגי המוצע.

תפוצה : נוכחים



פגישה עם המכון גיאולוגי			נושא
31/07/2018	תאריך פגישה	תהל	מקום
פרופ' לודוויג הליץ – המכון גיאולוגי, ירושלים ד"ר אייל פרייס - תהל מר ניסים נדב - תהל			משתתפים
סטטוס : להפצה	31/07/2018	תאריך הדפסה	נרשם ע"י אייל פרייס

מטרת הפגישה

הצגת טכנולוגיה להוספת מגנזיום למים מותפלים.

עיקרי הדברים

1. כללי

1.1. הרעיון הינו שימוש בתוצרים מקו התמלחות הסופיות מהראקטורים שמשמשים להפקת אשלגן במפעלי ים המלח, כמקור למגנזיום.

1.2. בהתאם לדוח "סקר מעקב אחר התמלחות הסופיות בקרבת תחנת השאיבה P88", יולי 2012 ואוגוסט 2013, המכון הגיאולוגי, וחקר ימים ואגמים לישראל - נתקבלו האנליזות הבאות לקו התמלחות הסופיות במפעלי ים המלח:
 $MgCl_2$ – 220 גר/ק"ג.
 $CaCl_2$ – 60 גר/ק"ג.
 $NaCl$ – 23 גר/ק"ג.

1.3. בהתאם לבדיקות המכון הגיאולוגי, מדובר במקור רציף ומשמעותי של מגנזיום כלוריד שמוזרם חזרה לים המלח, ללא מתכות כבדות.

1.4. שימוש במגנזיום כלוריד לקבלת ריכוז מגנזיום של 30 מג"ל, יגרור עליה של כ- 110 מג"ל כלורידים, זאת בנוסף ל- 20 מג"ל כלורידים שביציאה כיום ממתקני ההתפלה.

1.5. השאלה הנשאלת הינה האם ניתן לבצע חריגה בריכוזי הכלורידים ביציאה ממתקני ההתפלה ללא תוספת נתרן. שאלה זו תועבר להתייחסות הוועדה הבין משרדית לליווי תהליך פיילוט להוספת מגנזיום למים מותפלים.

תפוצה: נוכחים

נספח ג' – הצעה לנוסח קול קורא

תהל מהנדסים יועצים בע"מ • תכנון המים לישראל בע"מ • רח' אריק אינשטיין 5 אור יהודה 6037505 • www.tahal.com
חטיבת הנדסה – תכנון כללי ותכניות אב • טל' 03-6924678 • פקס: 03-6924550 • דוא"ל: EyalP@tahal.com



קול קורא מאת ועדת המכרזים הבין-משרדית להתפלת מי ים שיטות ותהליכים להוספת מגנזיום למי ים מותפלים

ועדת המכרזים הבין-משרדית להתפלת מי ים, פונה בפניה פומבית, לחברות בעלות ידע וענין, להגיש הצעות בכתב לשיטות ותהליכים להוספת מגנזיום למי ים מותפלים. לאחר הגשת ההצעות, הועדה שומרת לעצמה את הזכות לזמן לדיון מי ממגישי ההצעות, לפי שיקול דעתה הבלעדי.

1. מבוא

1.1. ועדת המכרזים הבין-משרדית מורכבת מנציגים ממשרדי התשתיות הלאומיות, הבריאות, האוצר, ורשות המים.

1.2. ההצעות שיוגשו על ידי הנענים לקול הקורא לא יחייבו את הועדה בכל ענין ודבר, באשר להחלטה על התהליך שיבחר להוספת מגנזיום למי הים המותפלים, או בכלל הצורך בהוספת מגנזיום.

1.3. במהלך שנת 2016 הגיע אחוז כושר הייצור של המים המותפלים במערכת המים הארצית ל 50% מהמים השפירים, כאשר מתוך 1,200 מלמ"ש (מיליון מטר מעוקב לשנה) מים שפירים, כ- 580 מלמ"ש הופקו במתקני התפלה

1.4. מים מותפלים, בניגוד למים טבעיים אשר מכילים מגוון מלחים בריכוזים שונים, מכילים ריכוז מלחים נמוך מאד. בהתאם לדרישות רשות המים, ריכוז כלורידים מקסימאלי במים לא יעלה על 20 מג"ל (מיליגרם לליטר), וריכוז הבורון לא יעלה על 0.4 מג"ל.

1.5. בטיפול המשלים מוסיפים למים קשיות ואלקליניות בהתאם לדרישות הועדה לעדכון תקנות מי השתייה (ועדת עדין) כדלהלן:

- קשיות סידן מומס 120 עד 80 מג"ל מבוטא כפחמת הסידן
- אלקליניות כללית 80 מג"ל מבוטא כפחמת הסידן
- פוטנציאל שיקוע קרבונט הסידן (CCPP Calcium Carbonate Precipitation Potential) 3.0-10.0
- הגבה (pH) 8.5 מקסימום.

1.6. ריכוז המגנזיום במים מותפלים הינו אפסי. בקול קורא זה, יש להוסיף 20 עד 30 מג"ל מגנזיום למי הים המותפלים.

2. דרישות ממגישי התגובות לקול הקורא

2.1. הטכנולוגיה של הוספת מגנזיום לא תגדיל בשום אופן את ריכוז הכלורידים והבורון במים המסופקים.

2.2. הטכנולוגיה של הוספת מגנזיום לא תגרום לסטייה מאיכות המים, כפי שזה בא לכלל ביטוי בתקנות איכות מי השתייה של מדינת ישראל, ודרישות הועדה לעדכון תקנות מי השתייה (ועדת עדין). סעיף זה כולל אבל לא מוגבל, לטעם ולצבע של המים המסופקים, לריכוזי מיקרו מזהמים כגון ארסן ומתכות כבדות, ולריכוזים מותרים של חיידקים ומיקרואורגניזמים אחרים.

2.3. יש לתאר בפרוטרוט את השיטה או התהליך המוצע, כולל תזרים תהליך עקרוני וגודל שטח (עקרוני) שנדרש למתקנים.

2.4. יש לציין מהם חומרי הגלם הנדרשים, האם הם זמינים בישראל, או מקורם בחו"ל, ואם כן מהו מקור האספקה. מהם דרכי השינוע, והאחסון של חומרי גלם אלו.

2.5. מהי רמת ה"בשלות" של הטכנולוגיה, האם הופעלה במתקנים מסחריים או רק במתקני ניסוי. מה מספר השעות בכל אחד מאלה. תקלות שקרו במהלך ההפעלה.

2.6. מהי התחזוקה שתידרש, ומהי רמת הזמינות הצפויה (plant factor).

2.7. מחיר הוספת המגנזיום :

- ההשקעה ההונית המוערכת לכל מ"ק מים מסופקים בגין הוספת המגנזיום : לחשב לפי 30 מג"ל מגנזיום לכל מ"ק מים מותפלים ברמת זמינות בהתאם לסעיף מעלה.

- מתווה התקשרות מקובל וחלוקת הסיכונים המקובלת.

- הוצאות הפעלה קבועות.

- הוצאות הפעלה משתנות : צריכת חומרי גלם, צריכת חשמל. בצריכת חשמל יש להציג את מקדם הצריכה הסגולי ולהביא בחשבון מחיר חשמל של 0.37 ש"ח/קו"ש.

- אורך חיים כלכלי של הפתרון המוצע.

- השקעות חד-פעמיות מהותיות הנדרשות על פני אורך החיים הכלכלי, משתנות וקבועות.

- הנחות מהותיות נוספות שיש בעיני הנענים בכדי להשפיע על הכדאיות הכלכלית והעלות הכוללת של הפתרון הטכנולוגי המוצע.

פרטי קשר להעברת הצעות...