

בס"ד
כ"ד תשרי תשפ"ב
30 ספטמבר 2021

לכבוד הרב אריאל בוקוולד, בני-ברק

הנדון: חוות דעת מקצועית בנושא חיטוי מקוואות בשיטת "מקווה – ריין"

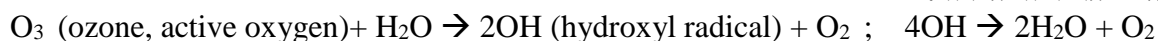
הרב בוקוולד שלום וברכה

תודה לך על שזיכיתני להיכנס לעבי הקורה, בנושא חיטוי מתקדם של מקוואות טהרה, נושא חשוב ביותר. אכן הנושא קשור היטב לתחומי עיסוקי. כפרופסור במחלקה לכימיה באוניברסיטת בר-אילן אני מנהל קבוצת מחקר שעוסקת בין השאר בנושאי חיטוי מים, טיהור והתפלת מים בשיטות שונות. התעמקתי בנושא חיטוי מקוואות טהרה בשיטת "מקווה – ריין".

להלן חוות דעתי:

בשיטתם מייצרים חמצן פעיל בזרם אוויר המוכנס למי המקווה, מתפזר במים, מומס בחלקו ומשתחרר ברובו כזרם יוצא. האוויר שאנו נושמים מכיל 19-20% חמצן שהוא יסוד גזי מאד פעיל (מחולל בערה, שריפות ואפילו פיצוצים במגע עם חומרים דליקים). אך במצבו באוויר כמולקולה המהבטת 2 אטומי חמצן, פעילותו מרוסנת ובאה לידי ביטוי בתהליכי שריפה רק לאחר שפעול כמו חום רב, להבה, ניצוץ. החמצן במצבו הטבעי באוויר לא יכול לתקוף מזהמים ביולוגיים כמו חיידקים, פטריות, המסכנים בריאות בני אדם. ניתן לשפועל חמצן ולייצר צורוני חמצן (מולקולות, אטומים) פעילים במיוחד שיכולים לתקוף מזהמים ביולוגיים במים באופן יעיל במיוחד. בטכנולוגיה של "מקווה – ריין" משפועלים זרם אוויר למשל, על ידי שימוש בקרינת אור אולטרה-סגול (סוג של קרני אור היכולות לפעול על חומרים שונים כמו מולקולות חמצן ולעשותם פעילים), והופכים חלק קטן ממנו לחמצן פעיל התוקף חיידקים ופטריות. אינני נכנס למלא התיאור הפיסיקאלי של השפועל והתיאור הכימי של תגובות החמצן הפעיל.

אמנם, חלק מהחמצן הפעיל המוזרם ומתפזר בתוך מי המקווה נעלם עקב תגובות ישירות עם מזהמים במים, כולל חיידקים ופטריות. חלק ממנו מגיב למעשה עם מולקולות מים ומפרק אותם לצורונים פעילים ביותר הנקראים הידרוקסיל רדיקל, על פי התגובות הבאות:



למשל, אחד מצורוני החמצן הפעיל הקלטיים היא מולקולת אוזון, מתחברת עם מולקולת מים כמתואר לעיל, התגובה מייצרת 2 צורוני הידרוקסיל פעילים המגיבים אף הם בקלות עם מזהמים במים מכל הסוגים. מה שלא מגיב, חוזר למצב מים תוך שחרור מולקולות חמצן – התגובה השנייה המתוארת לעיל.

חשוב להדגיש:

האופי של החמצן הפעיל הנוצר בתהליך "מיקווה ריין" (אם זה אוזון, חמצן מולקולרי סינגלטי, חמצן רדיקאלי – אטומי, סופר-אוקסיד, פר-אוקסיד, כולם צורוני חמצן פעיל שתיאורם המדויק לא חשוב לעניינינו) לא אמור לשנות את מהות הדיון ומסקנותיו.

מה שחשוב הוא שעקב פיזור חמצן פעיל במים נוצרים צורוני הידרוקסיד (OH) שהם הפעילים ביותר בתהליכי החיטוי והם הם החוזרים ליצר מים 'חדשים', מולקולות מים שהם תוצרי תגובה של צורוני הידרוקסיד כמתואר לעיל. החמצן הפעיל גורם ליצור מולקולות מים חדשות.

חשוב להדגיש נושא נוסף:

מולקולות מים במצב נוזלי (בכל כלי, נפת, לחץ, טמפרטורה) מחליפות ביניהן את אטומי המימן שלהן. כלומר, בכל מקווה כשר למהדרין שנוספו אליו מים שאובים, מי פירות, משקים נוספים כמו יין וחלב, בכמות מועטת כלשהיא שלא פוסלת אותו, יתבצע תוך זמן לא ארוך חילוף אטומי מימן בין כל מולקולות המים, עקב התכונות הבסיסיות שלהן.

וכאן עולה השאלה הגדולה, והיא השאלה החשובה – מה הכמות המצטברת של מולקולות 'חדשות' במהלך חיטוי:

הרי בתהליכי חיטוי על ידי פיזור חמצן, נוצרות במים מולקולות חדשות שלכאורה אין להן תכונות טהרה (כמו מי פירות, מים שאובים וכו'). אם כן, עולה חשש שהשיטה הזו, הפועלת באופן רציף, מקלקלת את מי המקווה ומקלקלת את יכולת המקווה לטהר.

ובכן חישובים פשוטים ביותר מראים שאין כאן חשש כזה, בשום פנים ואופן, לכתחילה.
בכל רגע נתון, גם בעקבות הפעלה ממושכת, כמות המים ה'מקולקלים', אלו הנוצרים מחיבור מולקולות הידרוכסיל חזרה למים, היא זניחה לחלוטין.

הנה החשבון:

במקווה טהרה סטנדרטי יש לפחות 3 קוב מים = 3 מיליון סמ"ק שהם 3 מיליון גרם. כדי להשוות, צריך לעבוד ביחידות הנקראות מולריות, צריך לחלק במשקל המולקולרי של מים = 18 ואז במקווה טהרה קטן יש לפחות 1.66×10^5 מול מים. מערכת "מקווה ריין" מכניסה אויר בכמות של 2 ליטרים בדקה, לאורך 8 שעות בממוצע ליום, ובאוויר יש 25 חלקים למיליון חמצן פעיל (למשל מסוג אוזון). לו יצויר שכל האוזון הזה מפרק ומרכיב מולקולות מים (1 ל - 1), כלומר, לא לוקחים אפילו בחשבון את התגובות עם המזהמים. ולו יצויר שלא מחליפים את מי המקווה במשך שנה (למעשה חייבים להחליף את המים מדי שבוע!), מהי כמות המים ה'מקולקלים' היכולה להצטבר תוך שנה?
צריך להכפיל 2 ליטרים לדקה ב 60 (שעה) וב 8 (שעות ליום) וב 365 ימים בשנה ומקבלים הזרמה שנתית של 350400 ליטרים. כדי לדעת כמה ליטרים אוזון נכנסים למקווה בשנה (כמות מקסימאלית), צריך להכפיל ב 25 ולחלק במיליון שהרי הריכוז הוא 25 חלקים למיליון (מדוד!) קבלנו 8.76 ליטרים. כדי לקבל את הכמות במולים, צריך לחלק ב 24, כי מול גז בלחץ אטמוספרי ובטמפרטורת החדר הממוצעת תופס 24 ליטר. קבלנו 0.365 מול אוזון. במקרה המקסימאלי, בהתעלם מהעובדה שרוב האוזון מגיב עם מזהמים מסוגים שונים במים, ובהנחה שכל מולקולת אוזון מפרקת ומרכיבה מחדש מולקולות מים 'מקולקלת' כפי שתיארנו לעיל, הרי כמות המים ה'מקולקלים' המצטברת בשנה היא בסך הכל 0.365 מול, לעומת כמות של 1.66×10^5 מול מים שיש במקווה קטן, כפי שחישבנו לעיל.
כלומר הכמות היחסית של מים 'מקולקלים' המצטברת במקווה המטופל ע"י "מקווה – ריין" בהנחה שמי המקווה לא מוחלפים במשך שנה, היא 0.365 לחלק ב 1.66×10^5 . מדובר בכמות אפסית, 2.2×10^{-6} , שהיא 2 חלקי 10000 של אחוז. עד כאן דעתי המקצועית.

מכאן ואילך יחליטו מורי ההוראה עד כמה המצב שתואר לעיל מסכן את כשרות המקוואות.

בכבוד רב,

דורון אורבך

המחלקה לכימיה



Prof. Emeritus Doron Aurbach

Head of the electrochemistry group

Department of Chemistry, Bar-Ilan university.

Head of the Energy center in Bar-Ilan institute of advanced materials and nano-technology (BINA).

Ramat-Gan, 5290000, Israel

MRS, ISE and ECS fellow.

Recipient of the E.B. Yeager Award of the International Battery Association (IBA) in 2014; the A.

J. Bard Award of the electrochemical Society (ECS) in 2017; the A. Frumkin Medal of the

International Society of Electrochemistry (ISE), the Eric & Sheila Samson Israel Prime Minister

Prize for Innovation in Developing Alternative Fuels for Transportation during 2018 and the Gold

Medal of the Israel Chemical Society (2020).

Head of INREP - Israel National Research center for Electrochemical Propulsion (25 research groups from 7 Israeli leading academic institutions).

Senior editor for the Journal of the Electrochemical Society (JES).

TI- 972-3-5318317 ; Fax – 972-3-7384053 ; aurbach@mail.biu.ac.il