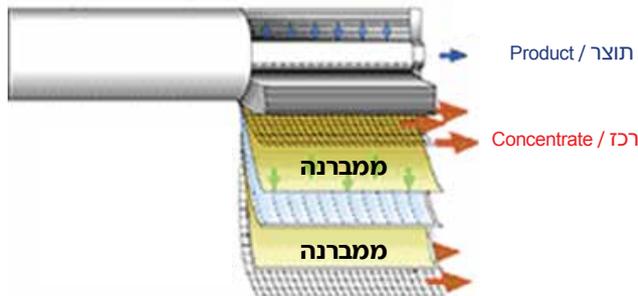


ממברנות בתהליכי התפלת מים

נטע אברהם-גרין*

בתמונה 1 כוללת דפי ממברנות רבים שמחוברים לחלקה המרכזי של הממברנה וארוזים באופן מעגלי. מבנה זה מה שמקנה לממברנה בקוטר מסוים שטח פני סינון גדול ושטף תוצר ראוי. בתמונה 1 ניתן לראות כי התוצר יוצא ממרכז הקוטר של הממברנה, ושההזנה לממברנה נכנסת מחלקה הרחב, זורמת לאורך שטח הסינון ויוצאת לאחר הסינון גם מחלקה הרחב של הממברנה. להזנה בתהליך סינון ממברנלי בתהליכי התפלה נהוג לקרוא Feed, לתוצר הסינון קוראים רכז/Concentrate.



תמונה 1: מבנה של ממברנה אוסמוזה הפוכה ספירלית.

תיאור כללי של תהליכי הפרדה ממברנליים
ממברנה היא מחסום בין שתי פזות המשמשת כ"קיר" סלקטיבי למרכיבים אשר יכולים לעבור דרכו. סלקטיביות ההפרדה בין המרכיבים מבוססת על עיקרון אחד לפחות מבין העקרונות האלה: גודל מולקולרי, הבדלים בדיפוזיה, מסיסות, מטען חשמלי, ספיחה או תגובה עם חלקה הפנימי של הממברנה. ממברנה מוגדרת על ידי המאפיינים האלה: רמת סלקטיביות, חדירות, עמידות מכנית וכימית ונטייה לזיהום. אלה הם יתרונות השימוש בממברנות בתהליכי הפרדה: צריכת אנרגיה אשר יכולה להיות נמוכה, חשיפת הנוזלים המטופלים לטמפרטורות מתונות, זרימה פשוטה ואפשרות לשלב תהליכי הפרדה ממברנליים כשלב נוסף בטיפול במתקנים וכך להתאים את המתקנים לתהליך ההפרדה הנדרש. לשימוש בממברנות בתהליכי הפרדה יש גם חסרונות כגון קיטוב ריכוזים, זיהום, מגבלת אורך חיים של הממברנה וגובה העלויות. ניתן לסווג ממברנות על פי אופן השימוש, מבנה, רמת נקבוביות, ומנגנון הפרדה. על הממברנה להיות דקה ככל האפשר כדי לאפשר שטף תוצר ראוי. מבין סוגי הממברנות הקיימות, ממברנות האוסמוזה הפוכה הן בעלות יכולת ההפרדה הקטנה ביותר בספקטרום הסינון, שעומדת על סדר גודל של 10 \AA ומטה. (Hasson 2001)

ממברנות

כדי לקבל שטף תוצר גדול ככל האפשר, נדרשת ממברנה בעלת שטח סינון גדול. קיימות ממברנות בצורות שונות: ממברנות במבנה ספירלי, ממברנות סיבים חלולים ועוד. הממברנה הנפוצה בשימוש בתהליכי התפלה היא ממברנה ספירלית. הממברנה הספירלית המופיעה

* נטע אברהם גרין, מהנדסת כימיה ומים, דוקטורנטית בקבוצת הכימיה בהנחיית ד"ר יעל שורץ, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע.



תופעה בלתי נמנעת בתהליכי התפלה היא תופעת **קיטוב הריכוזים**. כתוצאה מתהליך ההפרדה מצטברים מלחים על פני שטח הפנים של הממברנה מכיוון ההזנה אל התוצר; קיטוב ריכוזים זה עלול לגרום לשיקוע מלחים על פני הממברנה, לפגיעה בממברנה ובתהליך ההתפלה. קיטוב הריכוזים על פני הממברנה ניתן לחישוב על ידי נוסחה 3 ונוסחה 4.

$$CP = \frac{C_w - C_p}{C_b - C_p} = \exp\left(\frac{J_v}{k}\right) \quad (3)$$

$$k = D / \delta \quad (4)$$

כאשר C_b מציין את ריכוז ההזנה, k מקדם מעבר חומר, D מקדם הדיפוזיה, δ היא שכבת גבול ריכוזית.

רמת הדחייה של הממברנה ניתנת לחישוב על ידי נוסחאות 5 ו-6. נוסחה 5 מציגה את רמת הדחייה הנצפית בתהליך, ונוסחה 6 מציגה את רמת הדחייה האמתית ומבוססת על ריכוז על פני שטח הממברנה ולא על ריכוז הזנה.

$$R(\text{real}) = \frac{C_w - C_p}{C_w} \quad (6)$$

$$R(\text{obs}) = \frac{C_b - C_p}{C_b} \quad (5)$$



תמונה 2: ממברנות אוסמוזה הפוכה במתקן התפלה. (באדיבות חברת מקורות, צילום חן מיקא)

שטף התוצר בתהליכי התפלה ניתן לחישוב ע"י נוסחה 1

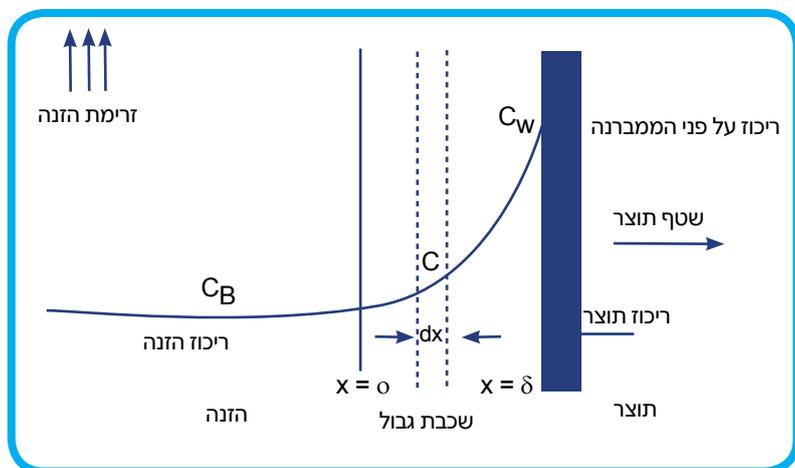
$$J_v = L_p \times [\Delta P - CP \times \Delta \Pi] \quad (1)$$

כאשר L_p מציין את פרמביליות המים של הממברנה, J_v מציין את שטף התוצר, ΔP מציין את הפרש לחצי העבודה, את קיטוב הריכוזים על פני הממברנה, ו- $\Delta \Pi$ את הלחץ האוסמוטי.

איכות התוצר ניתנת לחישוב על ידי נוסחה 2

$$J_v \times C_p = P_s \times (C_w - C_p) \quad (2)$$

כאשר C_p מציין את ריכוז התוצר, C_w מציין את הריכוז על פני שטח הממברנה, P_s מציין את הפרמביליות של המלח.



תמונה 3: סכמה של תאוריית שכבת הגבול הריכוזית (CP).

זיהום ממברנות



1NTU) גדול מ-3 או עכירות גדולה מ-1 (DENSITY INDEX) מהווים אינדיקציה לפוטנציאל זיהום ממברנלי שמקורו במוצקים מרחפים.

4. פעילות ביולוגית: בקטריות ומיקרואורגניזמים שונים עלולים לזהם את פני שטח הממברנה. הזיהום הביולוגי נפוץ יותר במקרים שבהם ההזנה לא עוברת תהליך חיטוי. ניתן לחזות את פוטנציאל הזיהום הביולוגי באמצעות בדיקה של ספירת חיידקים בהזנה.

(Wes Byrne, 1995)



תמונה 5: מסננים במתקן התפלה שמשפרים את איכות המים בכניסה לממברנות ומקטינים את פוטנציאל הזיהום שלהן. (באדיבות חברת מקורות, צילום ששון תירם)

טיפולם בתהליכי התפלה להסרת מזהמים מפני שטח הממברנה

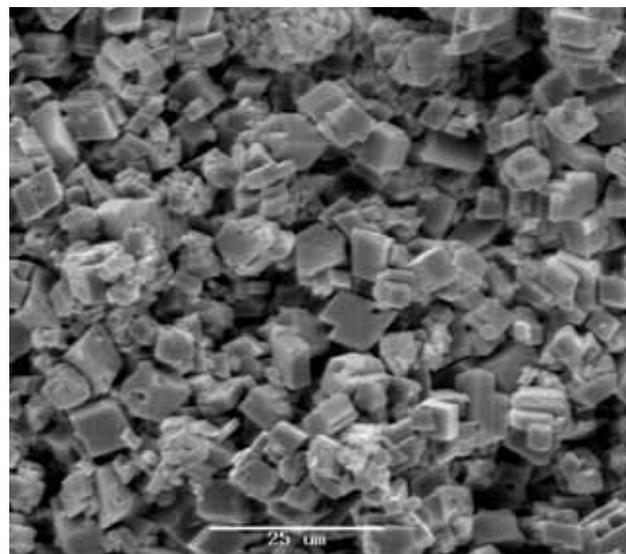
טיפולים כימיים

טיפול כימי מבוסס על עיקרון של תגובה עם מזהמים שונים על פני ממברנה. ניתן להתאים טיפולים כימיים שונים למזהמים שונים. יש להתייחס למגבלות החשיפה של הממברנות לערכי הגבה שונים ולחומרים כימיים שונים אשר יכולות להיות שונות ממברנה לממברנה, ויש להתייחס אליהן. קיימים ניקויים כימיים כגון:

ACIDS

קיימים סוגים שונים של זיהומים ממברנליים כתוצאה מתהליכי הפרדה, כגון:

1. שיקוע מלחים קרבונטים כגון: CaCO_3 , MgCO_3 , CaSO_4 , CaF_2 . שיקוע המלחים הוא פועל יוצא מקיטוב הריכוזים על פני הממברנה. שיקוע מלחים עלול להיווצר במערכות התפלה החשופות לריכוז מלחים גבוה בהזנה לממברנות ושעובדות בתנאי הזנה מעבר ליכולת הפעולה של אנטי סקלנטים.



תמונה 4: מבנה של CaCO_3 כפי שהתקבל במיקרוסקופ אלקטרוני. **2. סיליקה:** מקורות מים מסוימים עשירים בריכוזי סיליקה. קשה מאוד להסיר זיהום סיליקה על פני הממברנה, אולם באנליזת הזנה מוקדמת ניתן לחזות את הפוטנציאל של זיהום הממברנה על ידי סיליקה. באנליזת הזנה מוקדמת.

3. מוצקים מרחפים: מקורות מים עיליים כגון נחלים ואוקיינוסים מכילים ריכוז גבוה של מוצקים מרחפים. מוצקים מרחפים אורגניים עלולים לזהם את פני שטח הממברנה ולהוות מצע גידול לפעילות ביולוגית על פני הממברנה. ניתן לחזות את פוטנציאל הזיהום של מוצקים מרחפים בעזרת אנליזת הזנה מוקדמת. SDI (SILT)



עקרון הפעולה מבוסס על הלחץ האוסמוטי אשר נוצר באופן "טבעי" בזמן תהליך ההתפלה. כתוצאה מהפסקת לחץ ההזנה או המקטנתו מתחת ללחץ האוסמוטי של התוצר, התוצר עובר מכיוון התוצר אל כיוון ההזנה ומסיר מזהמים מעל פני הממברנה.

שימוש בגז

עקרון הפעולה מבוסס על שימוש בגז כגון אוויר או פחמן דו-חמצני בתהליך הניקוי הפיזיקלי. לבסוף נזכיר כי קיימים טיפולים פיזיקליים נוספים שהשימוש בהם נפוץ פחות, והם מבוססים על עקרון השקעה של אנרגיה מכנית.

(Ebrahim, 1994)

References

David Hasson, *Membrane separation and purification process-class notes*, Department of chemical engineering, Technion-Israel Institute of Technology, 2001.

S.Ebrahim. "Cleaning and regeneration of membrane in desalination and wastewater application: State-of-the-art". *Desalination* **96**(1994), pp 225-238.

Wes Byrne, *Reverse Osmosis a practical guide for industrial users*, TALL OAKS PUBLISHING INC, USA 1995.

Zahid Amjad, *Reverse Osmosis membrane technology, water chemistry and industrial applications*, Chapman @ Hall, New York, 1993.

קיימות חומצות שונות להסרת מזהמים. ניתן להסיר CaCO_3 מפני שטח הממברנה בעזרת ניקוי כימי בחומצות. בניקוי כימי בחומצות יש לשים לב שהחומצה לא תפגע בממברנה ולא תוריד את ערך ה-PH של הממברנה מתחת לערך PH המותר אשר שנקבע על ידי היצרן.

ALKALIES

שימוש בבסיסים מחליף לעתים את השימוש בחומצה להסרת משקעים חזקים כגון סיליקה. יש לשים לב למגבלות ה-PH של יצרן הממברנה.

CHELANTS

חומר נפוץ בקטגוריה זו הוא EDTA. חומר זה יעיל מאחר שהוא בעל אתרי קישור רבים, ביחס לחומרים האחרים.

FORMULATED PRODUCTS

הדרישה לכימיקלים לניקוי והמחסור בהם הביאו לפיתוחם של חומרים מעוגני פטנט.

(Zahid Amjad, 1993)

טיפולם פיזיקליים

שטיפה הפוכה עקרון הפעולה של ניקוי פיזיקלי הוא החלשת הקשר בין המזהם לפני שטח הממברנה. התאמת הטיפול הפיזיקלי מבוססת על סוג מבנה הממברנה (ממברנה ספירלית, ממברנת סיבים חלולים וכו'). קיימים טיפולים פיזיקליים שונים כגון:

FORWARD FLUSHING

שטיפה ישירה, עקרון הפעולה מבוסס על שאיבת תוצר לכיוון ההזנה בלחץ גבוה מספיק כדי להסיר מזהמים מפני שטח הממברנה.

REVERSE FLUSHING

עקרון הפעולה מבוסס על הזרמה של תוצר מכיוון התוצר להזנה בלחץ מספיק. בשיטה זו יש לשים לב בשיטה זו למגבלת הלחץ הנגדי ניתן להפעיל על הממברנה.

BACKWASH