

The danger of chlorination makes it necessary to either skip chlorination or to eliminate any organic substance from the water before purification. The second possibility is very difficult to perform hence new methods have been examined. 1) Ozonization 2) Activated Carbon

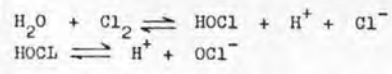
**אוזוניזציה של מי שתיה**

Ozonization of Drinking water

מאת: פרופ' ב.צ. דיאמנט \*

Ozon  
definition, characteristics, its ability to oxygenate. The process of chlorination. The process of ozonization. other uses of Ozon. Its production in nature, at the top of atmosphere. How artificial ozon is produced. Production of ozon at the low levels of the atmosphere.

השימוש באוזון לחיטוי מי שתיה היה ידוע זה מכבר באירופה ובעיקר בצרפת. כושר החיטוי של האוזון עולה על זה של הכלור ורק מחירו הגבוה יחסית מנע את השימוש הנרחב בו. בדומה לכלור, נובע כושר החיטוי של האוזון מיכולת החימצון שלו. כשכלור בא במגע עם מים נוצרת כחוצאה מהחגובה הכימית ביניהם חומצה היפוכלורית (HOCl) שהיא תרכובת מחמצנת חזקה. בהתאם לדרגת החומציות (pH) של המים חל בחומצה תהליך של יוניזציה והיא הופכת בחלקה ליון-היפוכלורטי - OCl שגם הוא בעל כושר חימצון אם כי קטן בהרבה מזה של החומצה. התגובות הכימיות הן כדלהלן:



האוזון לעומת זאת הינו חומר מחמצן ישיר הפועל בעת התפרקותו כאשר הוא משחרר-אטום של חמצן במצב התהווה. בגלל כושר החימצון הגבוה שלו משמש אוזון, נוסף על תפקידו העיקרי כחומר מחטא גם כאמצעי יעיל מאד לסילוק טעם וריח, צבע, תרכובות אורגניות, ברזל ומנגן מן המים. הוא משמש גם לפירוק ציאנידים ופנולים של שפכים תעשייתיים. 8. שלא ככלור, תגובתו של האוזון עם פנול אינה גורמת כל ריח דוחה. בטבע נוצר האוזון במרומי האטמוספירה ע"י הקרינה האולטרה-סגולה של השמש בדרך פוטו-כימית. שכבת האוזון הנוצרת בדרך זו מגינה על חיי כדור הארץ מפני קרינה אולטרה סגו-לית קצר-גלית מסוכנת.

הייצור המלאכותי של אוזון מבוצע בדרך דומה כאשר זרם חשמלי בעל מתח גבוה (15,000 וולט) חולף דרך תא המכיל אוויר נקי ויבש. בין מחצית אחד לאחוז אחד מכמות החמצן שבתא הופך בדרך זו לאוזון. (האוזון יכול להיווצר גם בשכבות הנמוכות של האטמוספירה, בנוכחות תחמוצות גפרית כתוצאה משריפות דלקים המכילים כמויות מסוימות של גפרית. האוזון נוצר אז תוך כדי תהליך פוטוכימי המושפע על ידי קרינת השמש,

במשך תקופה של מאה שנה ומעלה שלט הכלור בכיפה כחומר החיטוי העיקרי של מי שתיה. אולם אמינות זו החלה מתערערת לאחרונה עם הגילוי המפתיע של תרכובות קרצינוגניות במערכת אספקת המים של ניו-אורליאנס בלואי-זיאנה, אשר הוכח כי נהווו כתוצאה מתגובה כימית בין כלור לשרידי חמרים אורגניים שנמצאו במים.

להגלית חמורה זו היתה השפעה ישירה על חקיקת החוק החדש לבטיחות מי שתיה שאושר בארה"ב זמן קצר לאחר מכן ואשר נכללו בו תקנות הנוגעות לנוכחות חמרים קרצינוגניים במי שתיה. על מנת לעמוד בדרישות החוק החדש בשטח רגיש זה יש צורך לנקוט באחת משתי פעו-לות אפשריות - להפסיק מיד את השימוש בכלור במפעלי טיהור מים, או לשחרר את המים לחלוטין מכל נוכחות של חומר אורגני לפני שלב החיטוי במערכת הטיהור. האפשרות השניה איננה משימה פשוטה כלל ועיקר אס נזכור כי מצויים במים כחמישים תרכובות אורגניות שונות, אשר שש מהן נתגלו עד כה כקרצינוגניות.

התגלית הזאת והשיקולים שבאו בעקבותיה הולילו להערכות מצב חדשות בשטח טיהור מי השתיה ולבחינה מחודשת של אפשרויות בשימוש בתחליפי חמרים ושיטות במערכת הקיימת של שלבי הטיהור כגון המרת הכלור בגז אוזון למטרות חיטוי, והחלפת מסנני החול במסנני פחם מופעל (Activated Carbon), שיעילותם גדולה בהרבה מזו של הראשונים בעיקר בתחום סילוק חומר אורגני מן המים.

האוזון

האוזון נתגלה בשנת 1839 על ידי הכימאי הגרמני Schonbein ויוצר לראשונה על ידי מהנדס חשמל הגרמני Siemens באמצע המאה הקודמת. השם אוזון מוצאו מהמלה היוונית OZEIN שפירושה הרחה. לאוזון ריח ספציפי, הוא חסר צבע ומשקלו המרחבי 2154 גרם למ"ק. מבחינה כימית האוזון הוא איזוטופ בלתי יציב של חמצן המורכב ממולקולות בעלות שלושה אטומים של חמצן - O<sub>3</sub>. בניגוד לדעה המקובלת, הגז אוזון איננו חומר רפואי מבריא כי אם גז מרעיל המזיק לדר-כי הנשימה ונוכחותו באוויר בריכוז העולה על 0.2 \* ארגון הבריאות העולמי, אוניברסיטת זארייה, ניגריה.



מדריך שמושי לבדק בית לעקרת הבית ולבעלה

בתוכן:

כלים וחומרים, קירוח, סיוד וצביעה, חשמל, שרברבות, נגרות בנין, זגגות, צבעים עליך דיירו

המחיר 20.00 ₪

להשיג במזכירות האגודה

43 The international health organization, Zariah University, Nigeria

Ozon is more expensive than chlorine, however if it could solve problems of taste and smell its cost will be more reasonable.

Production of Ozon is performed in the plant. It is not affected by pH. It does not create bad odours when mixing with Phenol. In sum, it has advantages over chlorine.

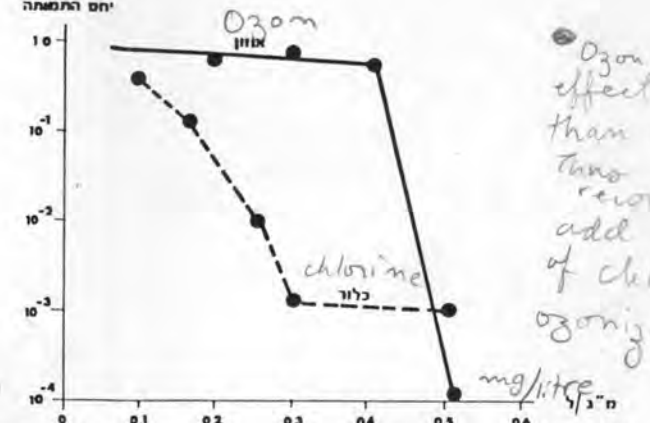
Ozonization

The amount needed: 1-2 mg/litre, or if more oxygenation functions are operated: 2-5 mg/litre. Amount of electricity needed for 1 kg Ozon = 18 kWh and additional 8 kWh are needed to operate the early stages devices.

The early stages devices are [...]. Description of the ozonator [117] and its operation. Duration of connection with water. The touch-cells can be planned according to 3 methods:

- 1) Spraying [...]
- 2) Dripping [...]
- 3) bubbles [...]. The simplest

Extinguishing ratio יחס הכיבוי



A comparative diagram of chlorine and Ozon in water on Kuli bacteria

דיאגרמה השוואית של השפעת ריכוזי כלור ואוזון במים על תמותת חידיקי קולי (לפי אינגולד ופטנר) (Ingolar & Patner)

1. מחירו של האוזון גבוה מזה של הכלור באם הוא משמש למטרות חיטוי בלבד, ואולם אם נוסף על כך ייפתרו בעזרתו בעיות של טעם וריח, צבע ועכירות, יהיה מחירו סביר ומתחרה בזה של הכלור, שכן פעולתו נוספות אלה מבטלות את הצורך בטיפולים יקרים כקואגולציה, סינון וסילוק בצצה.
2. ייצור האוזון מבוצע בתוך המפעל, בעוד שרוב מפעלי הטיהור המשתמשים בכלור צריכים להביא חומר מסוכן זה מהחוץ ולהובילו במצב נוזלי במיכלי לחץ מסוימים.
3. בניגוד לכלור שפעולתו יעילה רק בתנאי חמיצות נמוכים (pH < 7) אין פעולת החיטוי של האוזון מושפעת מדרגת החמיצות של המים.
4. שלא ככלור, אין האוזון גורם לריחות דוחים במגעו עם פנול.
5. המאזן שפורט לעיל מורה ללא ספק יחרון כללי ניכר של האוזון על פני הכלור בשטח חיטוי מי שתי, בייחוד לנוכח גילויי חמרים קרצינוגניים במים שחוטאו בכלור.

האוזוניזציה

1. שיטת הרס, שלפיה מוזרמים המים בצורת רסס לתוך חלל המגע כשהגיוון הנגדי זורמת תערובת האוזון והאוקסיגן. הרסס הדק מאפשר מגע נרחב של האוזון עם שטח הפנים הגדול של כדוריות המים הזעירות המרכיבות את הרסס.
2. שיטת הטפטפת, המורכבת מעמוד רחב של חלוקי אבנים הקבוע בתוך חלל המגע. המים מוזרמים מעל האבנים מתפשטים בשכבות דקות

Advantages and disadvantages of ozonization יתרונות וחסרונות של השימוש באוזון

Ozon have a shorter effect on water than chlorine, thus it is recommended to add small amount of chlorine after ozonization.

החסרון העיקרי של האוזון כמחטא מים הוא בהעדר השפעה נותרת מספקת לאחר החיטוי, בגלל מחצית החיים הקצרה של האוזון. בעוד שלכלור יש השפעה נותרת ממושכת בצורת "כלור נותר חפשי", שנוכחותו המינימלית (0.2 מ"ג/ל 30 דקות לאחר הכלורינציה) מבטיחה את האיכות הבקטריולוגית של המים לאורך הצנרת, הנה לאוזון חסרה נוכחות מבטיחה זו. אמנם המים היוצאים ממפעל הטיהור המשתמש באוזון יהיו מחוטאים כהלכה, ואולם אם זיהום כלשהו יחדור לרשת האספקה לאחר מכן הוא יגיע לבית הצרכן ללא עיכוב ויטכן את בריאותו, היות ופעולת האוזון נסתמת במפעל הטיהור או בקברתו. על מנת להתגבר על חיסרון זה ממליצים המצדדים בשימוש באוזון לחיטוי מים, לשלב בתהליך החיטוי מנת כלור קטנה, כך שלאחר שהמים יחוטאו באוזון ויחומצן החומר האורגני שעלול להימצא בהם, שזורק למים כמות כלור קטנה המספיקה ליצירת "כלור נותר חפשי" בכמות המינימלית הנדרשת לאורך קווי אספקת המים.

Almost total inefficiency under a certain concentration

חיסרון אחר של האוזון התגלה בתופעה המעניינת של העדר כמעט מוחלט של פעולת חיטוי מתחת לריכוז מסוים, בעוד שהחל מריכוז זה ומעלה "מתעורר" האוזון ויעילותו מתרוממת בתלילות רבה. אצל הכלור גדולה פעולת החיטוי בהדרגה ביחד עם עליית הריכוז.

הדיאגרמה להלן משווה את פעילות החיטוי של הכלור והאוזון. האבסצסה מראה את הריכוז ב-מ"ג/ל, והאורדינטה - את יחס התמותה של חידיקי קולי, המבטא את היחס בין הכמות שנותרה לפליטה לכמות ההתחלתית של החידיקים. מההשוואה מסתבר כי בעוד דרגת ההשמדה של החידיקים עולה בהדרגה אצל הכלור החל מריכוזים קטנים, הנה אצל האוזון אין כמעט כל השפעה על יחס התמותה כל עוד ריכוזו נמוך מ-0.42 מ"ג/ל. ואולם כמאן ואילך מחגבר כושר ההשמדה של האוזון במהירות רבה, כך שבריכוז של 0.48 מ"ג/ל כבר הושגה השמדה של 99.9 אחוז של החידיקים.

Ozon has more oxygenation capability and thus its purification intensity is higher

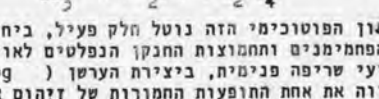
לבד ממחירו הגבוה יחסית של האוזון ומהעדר השפעה נותרת של פעולתו, יש לגזו חיטוי זה יתרונות ניכרים על הכלור, כגון:

1. האוזון הוא בעל כושר חומצון גבוה מזה של הכלור ולכן גם עצמת חיטויו גבוהה יותר.
2. האוזון אינו יוצר תרכובות קרצינוגניות במים, ולא עוד, אלא שהוא מונע את היווצרותן על ידי חימצון החומר האורגני ששרידי עולו לים להימצא במים. יש לציין כי השמדה נערכו על ידי סוכנות זיהום הסביבה של ארה"ב בדקות קרצינוגניות בכ-80 מפעלי טיהור מים ברחבי המדינה, ונתברר כי התוצאות הטובות ביותר נתקבלו ממפעלים שבהם מבוצע החיטוי באוזון, או על ידי פעולה משולבת של אוזון וכלור.

Ozon does not produce Karinogenic substances, and moreover, it prevents their production

Description of Ozon production on the low levels of atmospheric

כשדו-חמצן הגפריתי מתרכבת עם הלחות שבאוויר לתופעה גפרייתית לטי מערכת התגובות הבאות:



The action of Ozon in water

דרגת המיחול של אוזון במים היא נמוכה ויש ליצור ביניהם שטח מגע נרחב על מנת להשיג את המיחול הדרוש. דרגת המיחול תלויה בקואופיצינט ההתפרות (Distribution Coefficient) המבטא את היחס שבין דרגת המיחול של גז במים לבין דרגת המיחול של גז זה באוויר הבא במגע עם מים אלה, בתנאי לחץ והטמפרטורה, כך שב-20 מעלות צלזיוס ערכו הוא 0.2 וב-0 מעלות הוא עולה ל-0.6. לבד מהלחץ והטמפרטורה יש השפעה רבה על דרגת המיחול של אוזון במים, לתכולת החומר האורגני שבמים המתחמצן על ידי האוזון. פעולת האוזון במים היא חזקה, קצרה ומיירה. זמן קצר לאחר פעולת האוזוניזציה, כל האוזון מתפרק לחמצן ונעלם. זהו למעשה אחד החסרונות העיקריים של האוזון כחומר חיטוי כפי שיוסבר להלן.

The Ozon amount which remains in the water after a certain time

אם כמות האוזון הנותרת במים כעבור פרק זמן מסוים לאחר החיטוי נתון לחשב לפי הנוסחה הבאה:

$$F_t = 100 \cdot e^{-0.275 t}$$

כש P מבטא באחוזים את כמות האוזון שנותרה במים לאחר t רגעים.

measurement at concentration in water

אם ריכוז האוזון במים אפשר למדוד בקומפרטור לפי השיטה הצבעונית, עם אורטו-טולידין כריאגנט. אוזון, כמו כלור, מגיב עם אורטו-טולידין ביצירת גוון צהבהב-ירוק במים המכנה הוילר עם עליית הריכוז. השפעת האוזון על הריאגנט חזקה יותר מזו של הכלור, כך שאם דגימת מים המכילה אוזון והנמדדת בקומפרטור עם דיסקיט של כלור, מראה על ריכוז של 0.15 מ"ג/ל הרי הריכוז למעשה הוא רק 0.10 מ"ג/ל.

בעת נטילת דגימת מים מחוטאים באוזון לבדיקה בקטריולוגיה יש להימנע או להפחית את השפעת האוזון על הדגימה. לשם כך יש להוסיף לבקבוק הדגימה המעקר שתכולתו של כריגיל כ-170 סמ"ק כמות של 0.1 סמ"ק של חמיטת חיוסולפט הנתרן (Na2S2O3.5H2O) בריכוז של 3%. חוספת זו יעילה לריכוזי אוזון במים שאינם עולים על 5 מ"ג/ל.

when a water sample is taken - the influence of Ozon on it should be prevented by adding



nos 3 were already discussed.

4. New method for production of Ozon by a nuclear power, which are still experimental will enable reducing production costs by 90%. However ozon can compete with chloride at the present too if it is used to remove taste, smell etc.

5. It is desirable to substitute at least part of the sand filters for activated carbon filters. The carbon filters are not cheap. Regeneration.

6. Reclamation with chlorine should be stopped in plants which operate in rivers and lakes which function also as drinking water sources.

7. It is recommended to include standards for carcinogenic contamination  
 8. Since most of the water administration in Israel is concentrated under one authority ozonization can be easily performed

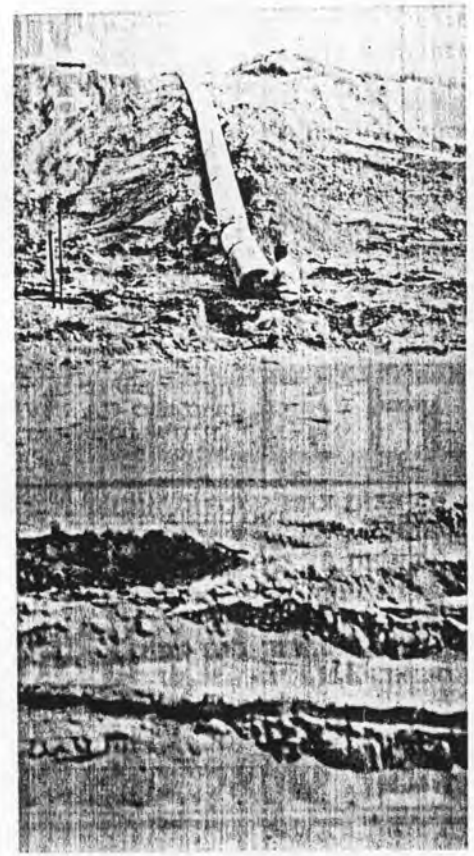
6. יש להפסיק את החיטוי בכלור במפעלי טיהור שפכים, שסילוקם מבוצע על ידי דילול בנהרות ואגמים המשמשים גם כמקור של מי שתיה. אחרת יחדרו חמרים קרצינוגניים שמקורם בתרכובות כלור וחמרים אורגניים, אל מפעלי טיהור המים וייצרו זיהום קרצינוגני עוד לפני שלב החיטוי של מי השתיה בכלור.
7. נומלץ להכליל מיד בתקן הרשמי של איכות מי השתיה של מכון החקנים, סטנדרטים להכולת זיהום קרצינוגני ולשיטות מדידתו.
8. רובו של משק המים בארץ מרוכז ברשות אחת. מצב זה מקל מאד מבחינות אירגוניות וטכניות על ביצוע מעבר משימוש בכלור לשימוש באוזון לחיטוי מי שתיה.

מ ק ו ר ו ת

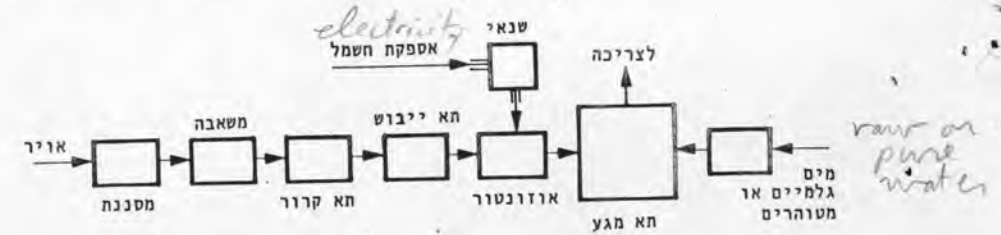
1. Babbitt, H.E., Donald, J.J., Cleasby, J.L. WATER SUPPLY ENGINEERING McGraw-Hill. New York, 1962.
2. Cox, T.S. OPERATION AND CONTROL OF WATER TREATMENT PROCESSES W.H.O. Geneva, 1964
3. Donovan D.C. TREATMENT WITH OZONE J. Am. Water Works Assoc., 57, 1167-1965
4. Fair, G.M. and Geyer, J.C. WATER SUPPLY AND WASTE WATER DISPOSAL Wiley. New York, 1954.
5. Fair, G.M. Geyer, J.E., and Okun S.A. WATER AND WASTE WATER ENGINEERING. Vol-2 Wiley. New York, 1968.
6. Fairweather, V. WHAT'S NEW IN WATER TREATMENT Civil Engineering, ASCE. Sept. 1975
7. Hoover, C.P. WATER SUPPLY & TREATMENT National Lime Assoc., Washington D.C. 1951.
8. Maxcy - Rosenau PREVENTIVE MEDICINE AND PUBLIC HEALTH (9th Edition) Appleton. New York, 1965.
9. World Health Organisation Air Pollution W.H.O. Geneva, 1961
10. World Health Organisation INTERNATIONAL STANDARDS FOR DRINKING WATER (3rd Edition)

4. מחיר ייצור אוזון גבוה כיום ממחיר ייצור כלור ואלם שיטות חדשות של ייצור אוזון באמצעות כוח גרעיני הנמצאות עדיין בשלבי ניסוי, מבטיחות את הוזלת המוצר עד כדי 90 אחוזים ממחירו הנוכחי. בכל אופן האוזון יכול כבר כיום להתחרות בהוצאות עם הכלור, בתנאי שהיה מנוצל באופן משולב למטרות חיטוי וסילוק מפגעים ומטרדים שונים מהמים, כטעם וריח, צבע, עכירות וכו'.

5. רצוי להחליף במפעלי טיהור מים לפחות חלק ממסנני החול, במסנני פחם מופעל, שיעילותם מרובה בהפרדת החומר האורגני מהמים. מן הראוי לציין כי מסנני פחם אינם זולים. מחיר מצע הפחם הוא כדולר לק"ג, ובערך אחת לשנתיים זקוק הפחם לשיחזור הכושר (Regeneration). החליף השיחזור מבוצע בתנורים מיוחדים בטמפרטורה של כ-900 מעלות סלציוס, ומחיר השיחזור מגיע ליותר מחצי דולר לק"ג פחם.



method for the dripping



scheme of stages of ozonization process  
 סכימת שלבי תהליך האוזוניזציה

\$160,000	חא מגע
\$ 38,000	מבנים (לפי 230 מ <sup>2</sup> /ד')
\$ 25,000	מערכת בקרה
\$ 50,000	צנרת
\$ 32,000	הכנון ושונות
\$515,000	סה"כ השקעה

Sum total of investment

2. ת פ ע ו ל Activation

3מ <sup>3</sup> ,000/ד' 1.35	תצרוכת חשמל ליצירת אוזון (17.6 קו"ש/ק"ג)
" / " 0.55	תצרוכת חשמל לקרוור, יבוש וכו' (7.7 קו"ש/ק"ג)
" / " 0.29	חמצן נוזלי (135 טון/שנה, 30 ד' טון)
" / " 0.63	אחזקה

סה"כ תפעול \$ 2.82 / 1,000 מ<sup>3</sup> Sum total of activation  
 דוגמת התמחיר הנ"ל מתייחס לאוכלוסיה בה כ-100,000 נפש לערך. מפעלים גדולים יותר עבור כרכים בסדר גודל של מיליון חושבים, יהיו יותר זולים יחסית בכדי 25 - 20 אחוזים. היות ומשק המים בארץ מנוהל רובו ככולו על ידי רשות מרכזית אחת, אפשר להעריך את הנחונים המקומיים לפי תחשיב למפעלים גדולים.

Summary סיכום

1. גילוי נוכחות תרכובות קרצינוגניות במי שתיה המחוטאים בכלור, עורר את הצורך החוקי בעיון מחודש של תכנון מפעלי טיהור מים, שרו-בם ככולם משמשים כיום בכלור למטרות חיטוי.
2. החליף המעשי היחיד לכלור כיום הוא האו-זון, שמבחינות רבות עולה ביעילותו על הרא-זון.
3. רצוי לשלב כלורניציה קלה בתהליך האו-זון ניצוזה על מנת להבטיח נוכחות של כלור נותר במערכת אספקת המים.

ורבות שטח על פני מעטפות הפנים של האבנים בדרכם למטה. מלמטה למעלה מוזרם האוזון שבא במגע נירחב עם המים. השיטה מבוססת על עקרונות המסנן הביולוגי לטיהור שפכים.

3. שיטת הבוועות, הנכונה מחא מגע בעל נקבו-נית שדרכה מוזרמת לתוך התא המלא מים בוועות האוזון המהול באוויר העושות דרכן למעלה דרך שכבת המים. גובה המים בתא קובע את משך המגע, והוא מגיע בדרך כלל ל-6 מטרים. השיטה מבוססת על עקרונות הפעולה של מתקן הרפס המופעל (Activated Sludge) לטיהור שפכים.

שיטת הטפטפת פשוטה יותר משתי השיטות האחרות והיא גם מקובלת יותר במפעלי טיהור מים המשמשים באוזון.

ת מחיר The price

היות ואין עדיין בארץ ניסיון עם חיטוי מים באוזון, קשה להרכיב תמחיר המתאים לתנאים המקומיים. ואולם ניתן לקבל מושג מה על הוצאות הבניה והתפעול של מפעל כזה, מדוגמת תמחיר של מפעל אוזוניזציה בחו"ל (ארה"ב).

התמחיר המובא הלהלן מתייחס למפעל טיהור מים בסדר גודל של 10 מיליון גלון ליום (כ-37,800 מ<sup>3</sup>/יום), שצריכת השיא שלו היא 23 מג"י (כ-87,000 מ<sup>3</sup>/יום), והצריכה משך תשע עשיריות של הזמן היא 14 מג"י (כ-54,000 מ<sup>3</sup>/יום). הטיהור תוכנן לפי הצריכה האחרונה, ובעת צריכת שיא משמשים בתחנן נוזלי להגברת כושר החימצון של האוזונטור. המפעל מטפל במים גולמיים ומנת האוזון היא 5מ"ג/ג. מחיר החשמל מחושב לפי 1.5 סנטיס לקו"ש, והתמחיר בכללותו מבוסס על נסיון 3 השנים האחרונות, והוא מתחלק לשני חלקים המורכבים ממחיר ההשקעה וממחיר התפעול.

Investment השקעה

\$150,000	מערכת אוזונטורים (265 ק"ג/יום)
\$ 40,000	מערכת קרוור וייבוש
\$ 20,000	מיכל חמצן נוזלי (קבולת - 15 טון)

raw or pure water  
 since it is expensive yet in ozonization it is difficult to fix prices for local conditions. It can be inferred from plants in the U.S.A [6]