



# Dezynfekcja wody odzyskanej ze ścieków

**prof. dr hab. inż. Monika Żubrowska-Sudoł**  
**Politechnika Warszawska**

**Interreg**  
Baltic Sea Region



Co-funded by  
the European Union



SUSTAINABLE WATERS

**ReNutriWater**

# XXXI Międzynarodowe Targi WOD-KAN 2025

20-22 maja 2025 | Bydgoszcz

## Bezpieczny odzysk wody – znaczenie procesów dezynfekcji

M. Żubrowska-Sudoł, A. Knap-Bałdyga, J. Czajkowska  
Politechnika Warszawska  
Wydział Inżynierii Środowiska



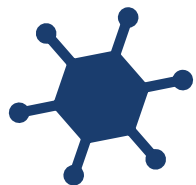
# Dezynfekcja w odnowie wody

## Dlaczego to takie ważne?

- Dezynfekcja to **kluczowy etap odzysku wody**
- Cel: **inaktywacja lub usunięcie mikroorganizmów chorobotwórczych**, takich jak:



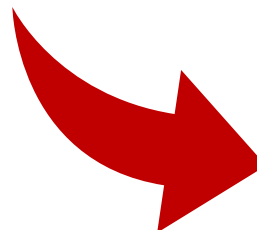
bakterie



wirusy



pierwotniaki

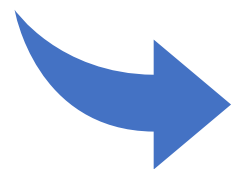


- Minimalizacja ryzyka transmisji chorób
- Wsparcie ochrony zdrowia publicznego
- Zapewnienie **bezpiecznego wykorzystania wody z odzysku**

# Dezynfekcja w odnowie wody



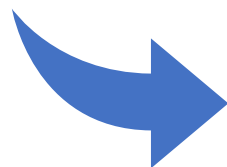
## Przegląd technologii



**Chlorowanie - chemiczna metoda dezynfekcji**, polegająca na dodawaniu związków chloru do wody



**Ozonowanie - chemiczna metoda dezynfekcji**, wykorzystująca ozon ( $\text{O}_3$ ) do eliminacji bakterii, wirusów i innych mikroorganizmów



**Promieniowanie UV** – skuteczna i bezpieczna metoda dezynfekcji wody, polegająca na oddziaływaniu promieni UV o określonej długości fali na mikroorganizmy, która **nie wymaga użycia środków chemicznych**

# Dezynfekcja w odnowie wody

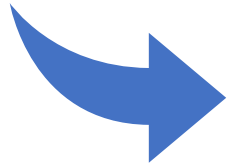


## Przegląd technologii

| Metoda            | Zalety                                                                                                                                                          | Wady                                                                                                                                                           |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Chlorowanie       | <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Niska cena</li><li>✓ Możliwość uzyskania wysokiej efektywności procesu dezynfekcji</li><li>✓ Efekt rezydualny</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>✗ Tworzenie ubocznych produktów dezynfekcji</li><li>✗ Potencjalne ryzyko zdrowotne</li><li>✗ Wymaga nadzoru</li></ul>    |
| Ozonowanie        | <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Bardzo silne działanie dezynfekujące</li><li>✓ Poprawa jakości wody</li></ul>                                           | <ul style="list-style-type: none"><li>✗ Wysoki koszt</li><li>✗ Wymaga generacji ozonu na miejscu</li><li>✗ Tworzenie ubocznych produktów dezynfekcji</li></ul> |
| Promieniowanie UV | <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Brak chemikaliów</li><li>✓ Brak produktów ubocznych</li><li>✓ Szybkie działanie</li></ul>                               | <ul style="list-style-type: none"><li>✗ Brak efektu rezydualnego</li><li>✗ Efekt dezynfekcji uzależniony od mętności ścieków</li></ul>                         |

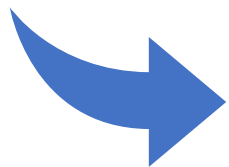
# Badane metody dezynfekcji

## Parametry procesów



### Chlorowanie:

- **Dezynfektant:** Podchloryn sodu ( $\text{NaClO}$ )
- **Dawki:** 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 mg  $\text{Cl}_2/\text{l}$
- **Czas kontaktu:** 10 i 20 min



### Ozonowanie:

- **Dezynfektant:** Ozon ( $\text{O}_3$ )
- **Dawki:** 25; 50; 75; 125 mg  $\text{O}_3/\text{l}$



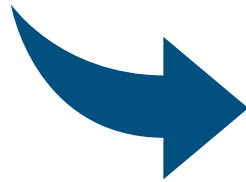
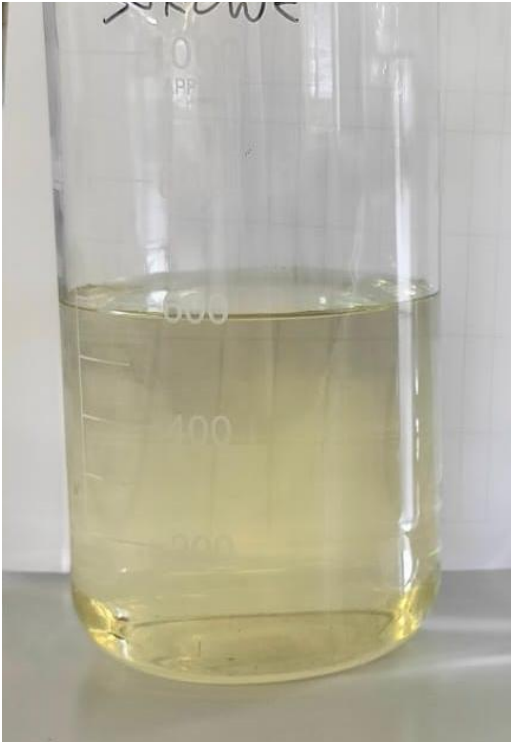
### Promieniowanie UV:

- **Dezynfektant:** promienie UV
- **Dawki:** 279, 312, 484  $\text{MJ}/\text{cm}^2$

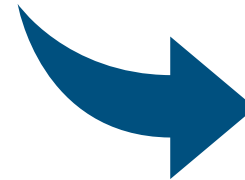
# Wyniki badań

Pierwsze eksperymenty...

Ścieki z oczyszczalni



Ozonowanie

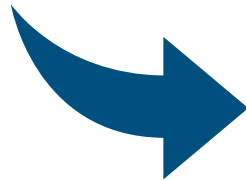
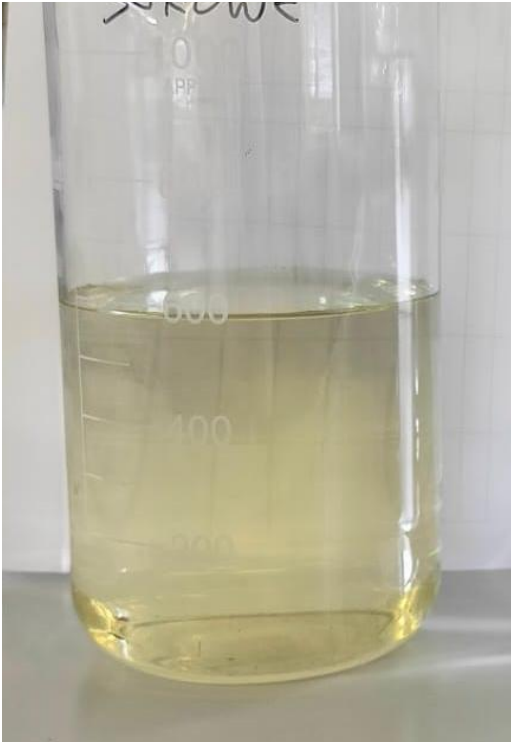


Po procesie ozonowania

# Wyniki badań

...kolejne eksperymenty

Ścieki z oczyszczalni



Po procesie ozonowania

# Wyniki badań

## Jakość ścieków przed dezynfekcją



| Wskaźnik          | Jednostka            | Ścieki przed dezynfekcją |
|-------------------|----------------------|--------------------------|
| Temperatura       | °C                   | 18,9                     |
| pH                | -                    | 7,48                     |
| Barwa             | mg Pt/l              | 25                       |
| Mętność           | NTU                  | 0,89                     |
| Przewodność       | μS/cm                | 1648                     |
| UV254             | cm <sup>-1</sup>     | 0,09                     |
| ChZT              | mg O <sub>2</sub> /l | 17,2                     |
| OWO               | mg/l                 | 6,6                      |
| Sucha pozostałość | mg/l                 | 886                      |
| Siarczany         | mg/l                 | 102                      |
| Chlorki           | mg/l                 | 223                      |
| Azot ogólny       | mg/l                 | 7,958                    |
| Azot amonowy      | mg/l                 | 0,031                    |
| Azot azotynowy    | mg/l                 | 0,012                    |
| Azot azotanowy    | mg/l                 | 7,34                     |
| Fosfor ogólny     | mg/l                 | 0,754                    |
| Ortofosforany     | mg/l                 | 0,707                    |
| Potas             | mg/l                 | 36,4                     |
| Zasadowość        | mval/l               | 4,0                      |

# Wyniki badań

## Jakość ścieków przed dezynfekcją – wskaźniki mikrobiologiczne

| Wskaźnik                               | Jednostka    | Ścieki przed dezynfekcją |
|----------------------------------------|--------------|--------------------------|
| Bakterie grupy coli                    | [jtk/100 ml] | 11200                    |
| Escherichia coli                       | jtk/100 ml]  | 3300                     |
| Enterokoki kałowe                      | [jtk/100 ml] | 880                      |
| Clostridium perfringens                | [jtk/100 ml] | 200                      |
| Liczba mikroorganizmów w 22 °C po 72 h | [jtk/1 ml]   | 47000                    |
| Liczba mikroorganizmów w 36 °C po 48 h | [jtk/1 ml]   | 32000                    |

# Wyniki badań

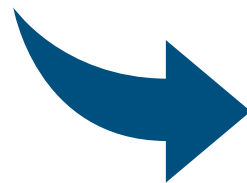
## Chlorowanie

| Wskaźnik                               | Jednostka    | Ścieki przed dezynfekcją | 10 min                    |                           |                           |                           | 20 min                    |                           |                           |                           |
|----------------------------------------|--------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                                        |              |                          | 0,5 mg Cl <sub>2</sub> /l | 1,0 mg Cl <sub>2</sub> /l | 2,0 mg Cl <sub>2</sub> /l | 4,0 mg Cl <sub>2</sub> /l | 0,5 mg Cl <sub>2</sub> /l | 1,0 mg Cl <sub>2</sub> /l | 2,0 mg Cl <sub>2</sub> /l | 4,0 mg Cl <sub>2</sub> /l |
| Bakterie grupy coli                    | [jtk/100 ml] | 11200                    | 11200                     | 440                       | 4                         | <4                        | 8200                      | 220                       | 5                         | 6                         |
| Escherichia coli                       | [jtk/100 ml] | 3300                     | 1900                      | 42                        | <4                        | 0                         | 2200                      | 26                        | <4                        | <4                        |
| Enterokoki kałowe                      | [jtk/100 ml] | 880                      | 670                       | 70                        | 0                         | 0                         | 800                       | 69                        | 0                         | 0                         |
| Clostridium perfringens                | [jtk/100 ml] | 200                      | 150                       | 220                       | 210                       | 150                       | 160                       | 210                       | 150                       | 130                       |
| Liczba mikroorganizmów w 22 °C po 72 h | [jtk/1 ml]   | 47000                    | 30000                     | 14000                     | 300                       | 110                       | 34000                     | 1500                      | 370                       | 140                       |
| Liczba mikroorganizmów w 36 °C po 48 h | [jtk/1 ml]   | 32000                    | 32000                     | 9400                      | 170                       | 120                       | 27000                     | 12000                     | 66                        | 130                       |

# Wyniki badań

## Chlorowanie

| Wskaźnik                                                     | Jednostka    | Ścieki przed dezynfekcją | 10 min                    |                           |                           |                           | 20 min                    |                           |                           |                           |
|--------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                                                              |              |                          | 0,5 mg Cl <sub>2</sub> /l | 1,0 mg Cl <sub>2</sub> /l | 2,0 mg Cl <sub>2</sub> /l | 4,0 mg Cl <sub>2</sub> /l | 0,5 mg Cl <sub>2</sub> /l | 1,0 mg Cl <sub>2</sub> /l | 2,0 mg Cl <sub>2</sub> /l | 4,0 mg Cl <sub>2</sub> /l |
| Escherichia coli                                             | [jtk/100 ml] | 3300                     | 1900                      | 42                        | <4                        | 0                         | 2200                      | 26                        | <4                        | <4                        |
| Klasa jakości wody odzyskanej według Regulacji (EU) 2020/741 |              | D                        | D                         | B                         | A                         | A                         | D                         | B                         | A                         | A                         |
| Regulacja (EU) 2020/741 wymagania                            |              | E.Coli ≤ 10 000          | E.Coli ≤ 10 000           | E.Coli ≤ 100              | E.Coli ≤ 10               | E.Coli ≤ 10               | E.Coli ≤ 10 000           | E.Coli ≤ 100              | E.Coli ≤ 10               | E.Coli ≤ 10               |



REGULATION (EU) 2020/741 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL  
of 25 May 2020

on minimum requirements for water reuse

(Text with EEA relevance)

# Wyniki badań

## Ozonowanie

| Wskaźnik                                  | Jednostka    | Ścieki przed dezynfekcją | Dawka                      |                            |                            |                             |
|-------------------------------------------|--------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
|                                           |              |                          | 25<br>mg O <sub>3</sub> /L | 50<br>mg O <sub>3</sub> /L | 75<br>mg O <sub>3</sub> /L | 125<br>mg O <sub>3</sub> /L |
| Bakterie grupy coli                       | [jtk/100 ml] | 11200                    | 0                          | 0                          | 0                          | 0                           |
| Escherichia coli                          | [jtk/100 ml] | 3300                     | 0                          | 0                          | 0                          | 0                           |
| Enterokoki kałowe                         | [jtk/100 ml] | 880                      | 0                          | 0                          | 0                          | 0                           |
| Clostridium perfringens                   | [jtk/100 ml] | 200                      | 20                         | <4                         | <4                         | 0                           |
| Liczba mikroorganizmów w<br>22 °C po 72 h | [jtk/1 ml]   | 47000                    | 54                         | 91                         | 150                        | 310                         |
| Liczba mikroorganizmów w<br>36 °C po 48 h | [jtk/1 ml]   | 32000                    | 54                         | 85                         | 100                        | 270                         |

# Wyniki badań

## Ozonowanie

| Wskaźnik                                                     | Jednostka    | Ścieki przed dezynfekcją | Dawka ozonu                |                            |                            |                             |
|--------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
|                                                              |              |                          | 25<br>mg O <sub>3</sub> /l | 50<br>mg O <sub>3</sub> /l | 75<br>mg O <sub>3</sub> /l | 125<br>mg O <sub>3</sub> /l |
| Escherichia coli                                             | [jtk/100 ml] | 3300                     | 0                          | 0                          | 0                          | 0                           |
| Klasa jakości wody odzyskanej według Regulacji (EU) 2020/741 |              | D                        | A                          | A                          | A                          | A                           |
| Regulacja (EU) 2020/741 wymagania                            |              | E.Coli<br>≤ 10 000       | E.Coli<br>≤ 10             | E.Coli<br>≤ 10             | E.Coli<br>≤ 10             | E.Coli ≤<br>10              |



REGULATION (EU) 2020/741 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL  
of 25 May 2020  
on minimum requirements for water reuse  
(Text with EEA relevance)

# Wyniki badań

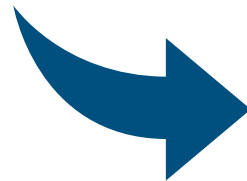
## Promieniowanie UV

| Wskaźnik                                  | Jednostka    | Ścieki przed dezynfekcją | Dawka UV                     |                              |                              |
|-------------------------------------------|--------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|                                           |              |                          | 280<br>[MJ/cm <sup>2</sup> ] | 310<br>[MJ/cm <sup>2</sup> ] | 480<br>[MJ/cm <sup>2</sup> ] |
| Bakterie grupy coli                       | [jtk/100 ml] | 11200                    | 4                            | 6                            | 5                            |
| Escherichia coli                          | [jtk/100 ml] | 3300                     | 0                            | 0                            | 0                            |
| Enterokoki kałowe                         | [jtk/100 ml] | 880                      | <4                           | <4                           | <4                           |
| Clostridium perfringens                   | [jtk/100 ml] | 200                      | 53                           | 63                           | 62                           |
| Liczba mikroorganizmów w 22 °C<br>po 72 h | [jtk/1 ml]   | 47000                    | 470                          | 7                            | 200                          |
| Liczba mikroorganizmów w 36 °C<br>po 48 h | [jtk/1 ml]   | 32000                    | 410                          | 240                          | 190                          |

# Wyniki badań

## Promieniowanie UV

| Wskaźnik                                                                | Jednostka    | Ścieki przed<br>dezynfekcją | Dawka UV                     |                              |                              |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|                                                                         |              |                             | 280<br>[MJ/cm <sup>2</sup> ] | 310<br>[MJ/cm <sup>2</sup> ] | 480<br>[MJ/cm <sup>2</sup> ] |
| Escherichia coli                                                        | [jtk/100 ml] | 3300                        | 0                            | 0                            | 0                            |
| <b>Klasa jakości wody odzyskanej według<br/>Regulacji (EU) 2020/741</b> |              | <b>D</b>                    | <b>A</b>                     | <b>A</b>                     | <b>A</b>                     |
| Regulacja (EU) 2020/741 wymagania                                       |              | E.Coli ≤ 10 000             | E.Coli ≤ 10                  | E.Coli ≤ 10                  | E.Coli ≤ 10                  |



REGULATION (EU) 2020/741 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL  
of 25 May 2020  
on minimum requirements for water reuse  
(Text with EEA relevance)

# Wyniki badań

## Wpływ na właściwości nawozowe



Sezonowa dawka nawozu w przypadku trawy na 1 m<sup>2</sup>  
(zgodnie z N:P:K – 4:1:2)

|   |          |
|---|----------|
| N | 0,024 kg |
| P | 0,006 kg |
| K | 0,012 kg |

Zakładane zapotrzebowanie na wodę 0,5 – 3.0 l/m<sup>2</sup>

Sezonowe zapotrzebowanie trawy na wodę wynosi:

**75 l/m<sup>2</sup>** - 5 miesięcy × 30 dni × 0,5 l/ (m<sup>2</sup> × dzień)

**450 l/m<sup>2</sup>** - 5 miesięcy × 30 dni × 3,0 l/ (m<sup>2</sup> × dzień)

# Wyniki badań

## Pokrycie zapotrzebowania

Pokrycie zapotrzebowania na składniki nawozowe dla traw

| Pokrycie<br>zapotrzebowania<br>[%] | Ścieki<br>oczyszczone | Chlorowanie | Ozonowanie   | UV           |
|------------------------------------|-----------------------|-------------|--------------|--------------|
| N                                  | 2,49-14,92            | 2,52-15,10  | 2,46-14,79   | 2,48-14,87   |
| P                                  | 0,94-5,66             | 0,96-5,78   | 0,99-5,91    | 0,93-5,60    |
| K                                  | 22,75-136,50          | 21,0-126,0  | 20,06-120,38 | 19,44-116,63 |

# Podsumowanie

| Chlorowanie                                                       | 10 min                       |                              |                              |                              | 20 min                       |                              |                              |                              |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|                                                                   | 0,5 mg<br>Cl <sub>2</sub> /l | 1,0 mg<br>Cl <sub>2</sub> /l | 2,0 mg<br>Cl <sub>2</sub> /l | 4,0 mg<br>Cl <sub>2</sub> /l | 0,5 mg<br>Cl <sub>2</sub> /l | 1,0 mg<br>Cl <sub>2</sub> /l | 2,0 mg<br>Cl <sub>2</sub> /l | 4,0 mg<br>Cl <sub>2</sub> /l |
| Klasa jakości wody uzyskanej<br>według Regulacji (EU)<br>2020/741 | D                            | B                            | A                            | A                            | D                            | B                            | A                            | A                            |

| Ozonowanie                                                     | Dawka ozonu                |                            |                            |                             |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
|                                                                | 25<br>mg O <sub>3</sub> /l | 50<br>mg O <sub>3</sub> /l | 75<br>mg O <sub>3</sub> /l | 125<br>mg O <sub>3</sub> /l |
| Klasa jakości wody uzyskanej według<br>Regulacji (EU) 2020/741 | A                          | A                          | A                          | A                           |

| Promieniowanie UV                                           | Dawka UV                     |                              |                              |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|                                                             | 279<br>[MJ/cm <sup>2</sup> ] | 312<br>[MJ/cm <sup>2</sup> ] | 484<br>[MJ/cm <sup>2</sup> ] |
| Klasa jakości wody uzyskanej według Regulacji (EU) 2020/741 | A                            | A                            | A                            |

# XXXI Międzynarodowe Targi WOD-KAN 2025

20-22 maja 2025 | Bydgoszcz

## Bezpieczny odzysk wody – znaczenie procesów dezynfekcji

M. Żubrowska-Sudoł, A. Knap-Bałdyga, J. Czajkowska



**Autor prezentujący: Monika Żubrowska-Sudoł**

Wydział Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej

E-mail: [monika.sudol@pw.edu.pl](mailto:monika.sudol@pw.edu.pl)

Prezentacja została przygotowana w ramach projektu „**ReNutriWater – Zamknięcie lokalnych obiegów wodnych poprzez recyrkulację składników odżywczych i wody oraz ich wykorzystanie w środowisku naturalnym**”, finansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego (EFRR), nr projektu #C016.