

Wody podziemne



1. Ujmowanie wody (studnie)
2. Napowietrzanie wody
3. Filtracja (jedno lub dwustopniowa)
4. Dezynfekcja wody

Stacja uzdatniania wody w Pilichowie

39



40



41



42



43

Advance Groundwater Treatment
Iron, Manganese, Fluoride and Boron
Removal

Usuwanie żelaza i manganu

S. K. Sharma, B. Petruszewski, J.C. Schippers
October 2001

Iron

Iron

- ~ Czwartą pod względem rozpowszechnienia pierwiastek na Ziemi
- ~ Powszechnie występujące w wodach podziemnych (1 to 40 mg/l)

Bez konsekwencji zdrowotnych, próg wyczuwalności smaku 0,3 mg/l (WHO, 1996)

Problemy powodowane przez żelazo


- ~ Plamy, zabarwienia, zły smak
- ~ Wtórne zanieczyszczenie w systemie dystrybucji
- ~ Przypadki wzrostu mętności
- ~ Wzrost kosztów utrzymania (czyszczenie rurociągów)

IHE

44

Metody usuwania żelaza

- Utlennianie i filtracja pośpieszna na złożach piaskowych
 - Utlennianie O_2 (napowietrzanie)
 - Cl_2 , $KMnO_4$, O_3 , H_2O_2 , ClO_2
- Filtracja na złożach wapiennych
- Filtry utleniające (Greensand)



Greensand lub Green sand występuje zarówno w formie piasku jak i piaskowca o zielonkawym kolorze. To określenie używane jest w stosunku do morskich osadów szelfowych, które zawierają znaczne ilości zaokrąglonych zielonkawych ziaren. Nazwa Greensand jest błędnie stosowana, także do każdego osadów glaukonitowych.

Glaukonit – minerał z grupy krzemianów, glaukos = niebieskozielony

45

Oxidation of Iron(II)

Forms of Iron

- Fe (II) - dissolved (No oxygen)
- Fe (III) - insoluble (Oxygen present)

Oxidation Reaction

$$4Fe^{2+} + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4Fe^{3+} + 4OH^-$$

$$4Fe^{3+} + 4OH^- + 2(n+1) H_2O \rightarrow 2(Fe_2O_3 \cdot nH_2O) + 8H^+$$

$$4Fe^{2+} + O_2 + 2(n+2) H_2O \rightarrow 2(Fe_2O_3 \cdot nH_2O) + 8H^+$$

1 mg of Fe requires 0.14 mg of oxygen

46

Raportowane przypadki słabej efektywności konwencjonalnego procesu usuwania żelaza


- Niski odczyn (pH) podczas utleniania
- Krótki czas utleniania
- Problemy związane z formowaniem flokul
- Zły dobór efektywnej średnicy ziaren pisaku
- Kompleksowanie żelaza (krzemiany i humusy)
- Zła lokalizacja dozowania reagentów
- Pogorszenie jakości wody surowej

47

Utlennianie i mechanizm formowania flokul

Podjęcie konwencjonalne

- utleniania Fe(II) do Fe(III)
- hydroliza Fe(III)
- filtracja uformowanych flokul



```

graph TD
    Fe2+ --> Fe3+
    Fe3+ <--> FeOH2[Fe(OH)2+]
    FeOH2 <--> FeOH3[Fe(OH)3]
    Fe3+ --> Agglomeration[Agglomeration of iron hydroxides]
    FeOH2 --> Agglomeration
    FeOH3 --> Agglomeration
    Agglomeration --> Crystallization[Crystallization]
    Crystallization --> MicroFlocs[Micro flocs]
    MicroFlocs --> Filtration[Filtration]
  
```

48

Biological Iron Removal

- Oxidation of iron(II) to iron(III) caused by bacteria (*Gallionella*, *Crenothrix*, *Sphaerotilus-Lepothrix*)
- Bacteria derive energy from the oxidation
- $4Fe^{2+} + O_2 + 10 H_2O = 4 Fe(OH)_3 + 8H^+ + Q \text{ cal.}$
- Optimum pH 6- 8
- Optimum Temperature
- 10- 15° C(*Gallionella*) , 20 - 25°C (*Sphaerotilus - Lepothrix*)

Limitations

- Mechanism not fully understood
- Temperature and water quality dependent
- pH sensitive

49

Manganese in Groundwater

Mainly present in GW as Mn^{2+} (dissolved)

Frequently coexists with Fe^{2+}

- causes similar problems
- taste and staining problems more severe

Standards

Standard	Value	Guideline value
WHO	0.1 mg/l	Desired, 0.05 mg/l
EC	0.02 mg/l	Desired, 0.05 mg/l MAC

50

Manganese Removal

Oxidation - Rapid Sand Filtration

- Auto catalytic Oxidation
O₂, Cl₂, KMnO₄
Manganese green sand
- Biological Oxidation

$$6\text{Mn}^{2+} + \text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Mn}_3\text{O}_4 + 12\text{H}^+$$

$$2\text{Mn}_3\text{O}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow 6\text{MnO}_2$$

$$6\text{Mn}^{2+} + 3\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 6\text{MnO}_2 + 12\text{H}^+$$

1 mg of Mn requires 0.29 mg of oxygen

51

Manganese removal

- Rate of oxidation is very slow in solution when pH is less than 8.6
- In rapid sand filters, oxidation may take place when pH is higher than 7.0
- The rate of oxidation of Mn²⁺ in rapid sand filters is much lower than that of Fe²⁺
- Mn₃O₄ acts as a catalyst on which Mn²⁺ is adsorbed Mn²⁺ gets oxidised to Mn₃O₄ while older Mn₃O₄ gets oxidised to MnO₂

52

Manganese Removal

Auto catalytic oxidation proceeds as follows

$$\text{Mn(II)} + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{MnO}_2 \text{ (s)} \quad \text{(slow)}$$

$$\text{Mn(II)} + \text{MnO}_2 \text{ (s)} \rightarrow \text{Mn(II).MnO}_2 \text{ (s)} \quad \text{(fast)}$$

$$\text{Mn(II).MnO}_2 \text{ (s)} + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MnO}_2 \text{ (s)} \quad \text{(slow)}$$

Product of Mn(II) oxygenation are non stoichiometric showing various degree of oxidation ranging from MnO_{1.3} to MnO_{1.9} (30 to 90% oxidation to MnO₂) under varying alkaline conditions.

53

Usuwanie związków azotu

$$\text{N}_{\text{org}} \rightarrow \text{NH}_4^+ \rightarrow (\text{NO}_2^-) \rightarrow \text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$$

54

Dopuszczalne zawartości:
 NH₄⁺ - 0,5 mg/L
 NO₂⁻ - 0,5 mg/L
 NO₃⁻ - 50 mg/L

Wody podziemne (tlo): NH ₄ ⁺ - 0-1 mg/L NO ₂ ⁻ - 0-0,003 mg/L NO ₃ ⁻ - 0-5 mg/L	Wody powierzchniowe (A3) NH ₄ ⁺ - 1 mg/L (jako NH ₃) NO ₂ ⁻ - ----- NO ₃ ⁻ - 50 mg/L TKN - 3 mg/L
---	--

$$\text{N}_{\text{org}} \rightarrow \text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$$

14 18 46 62
17 (NH₃)

55

nitryfikacja, czyli utlenienie NH₃ za pomocą bakterii Nitrosomonas i Nitrosococcus do NO₂⁻

$$2\text{NH}_4^+ + 3\text{O}_2 = 2\text{NO}_2^- + 4\text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$$

a następnie za pomocą bakterii Nitrobacter i Nitrosocystis do NO₃⁻

$$2\text{NO}_2^- + \text{O}_2 = 2\text{NO}_3^-$$

bakterie autotroficzne – proces dwustopniowy

Denitryfikacja - konwersja azotanów na azot w stanie gazowym
 MASA ORG. + NO₃⁻ + H⁺ → BIOMASA + CO₂ + H₂O + N₂
 bakterie heterotroficzne

56

Etapy procesu:



I etap NITRYFIKACJA



konwersja azotu z amoniaku na azotany

II etap DENITRYFIKACJA



konwersja azotanów na azot w stanie gazowym

57

Odżywianie bakterii



Autotrofy pobierają ze środowiska związki nieorganiczne i w szeregu przemian biochemicznych przekształcają je w związki organiczne. Odbywa się to przy udziale energii świetlnej albo energii zakumulowanej w wiązaniach chemicznych.

Heterotrofy odżywiają się materią organiczną, rozkładając ją.

58

Oddychanie bakterii:



bakterie **tlenowe - aeroby**

bakterie **beztlenowe - anaeroby**

obligatoryjne tlenowce
obligatoryjne beztlenowce

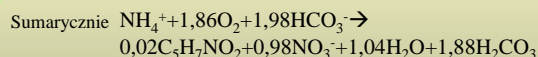
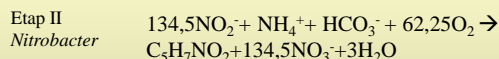
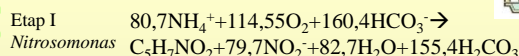
nie potrafią żyć w innych warunkach niż te, do których zostały stworzone,

fakultatywne tlenowce - są beztlenowcami, przy obecności tlenu nie giną, jednak przeprowadzają wszystkie procesy w mniej wydajny sposób

fakultatywne beztlenowce - są tlenowcami, przy braku tlenu, także potrafią żyć, ale zazwyczaj mniej wydajnie.

59

Nitryfikacja



W uproszczeniu (do okr. spadku zasadowości) $\text{NH}_4^+ + 1,5\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$
 $(2\text{H}^+ + 2\text{HCO}_3^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{CO}_3)$

60

Nitryfikacja – wymagania:



- obecność tlenu rozpuszczonego > 2 mg/l
- odczyn > 6,5 pH (optimum 7,5 – 8,5)
- zasadowość > 50 g CaCO₃/m³
- występowanie azotu w formie azotu amonowego
- temperatura > 5 °C (optimum 20 °C)
- długi wiek osadu (>20 dni)

Nitryfikacja – efekty:

- utlenienie azotu amonowego do azotanów
- spadek zasadowości (7,14 g CaCO₃/g N-NH₄)
- zużycie tlenu 4,25 g O₂/g N-NH₄
- przyrost biomasy autotrofów na 1 g utlenionego N-NH₄:
nitrosomonas 0,10g sm, *nitrobacter* 0,06 g sm (łącznie 0,16 g)

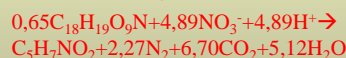
61

Denitryfikacja



Z wykorzystaniem związków organicznych zawartych w ściekach surowych i obecności azotu amonowego
 $0,61\text{C}_{18}\text{H}_{19}\text{O}_9\text{N} + 4,54\text{NO}_3^- + 0,39\text{NH}_4^+ + 4,15\text{H}^+ \rightarrow \text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2 + 2,27\text{N}_2 + 5,98\text{CO}_2 + 5,15\text{H}_2\text{O}$

Z asymilacją azotu azotanowego (wbudowanie azotu azotanowego w biomasę)



Zdolność do prowadzenia denitryfikacji ma ok. 60% bakterii heterotroficznych

62

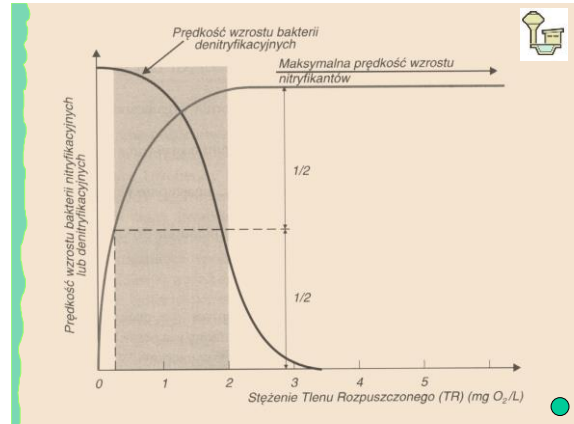
Denitryfikacja – wymagania:

- obecność tlenu rozpuszczonego < 1 mg/l
- odczyn 6 - 8 pH (optimum 6,5 – 7,5 pH)
- występowanie azotu w formie azotu azotanowego
- temperatura 5 - 20°C
- stosunek BZT₅/N-NO₃ > 3,5

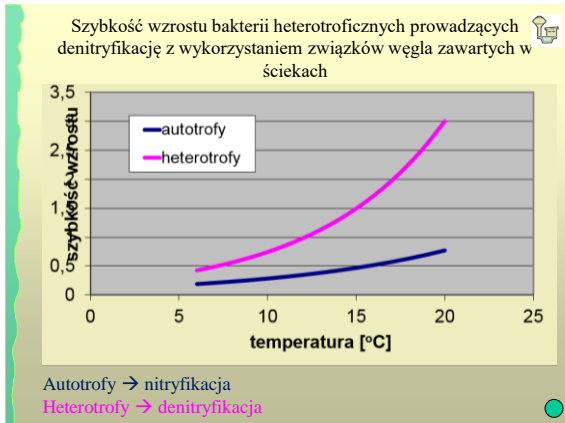
Denitryfikacja – efekty:

- redukcja azotanów do wolnego azotu
- wzrost zasadowości (3,0 g CaCO₃/g N-NO₃)
- zużycie związków organicznych 2,3-2,9 g BZT₅/g N-NO₃
- przyrost biomasy heterotrofów prowadzących denitryfikację ok. 0,9 g sm./g N-NO₃

63



64



65

Metody usuwania azotanów:

- Odwrócona osmoza
- Wymiana jonowa
- Destylacja
- Procesy biologiczne (denitryfikacja)

Każda z tych metod charakteryzuje się wysokimi wymaganiami i wysokimi kosztami.

Denitryfikacja – konieczny dodatek łatwo przyswajalnych związków organicznych i fosforanów

Rys. 19.2. Układ oczyszczania wody z wykorzystaniem denitryfikacji: 1 – zbiornik filtracyjny zasiedlony denitryfikantami, 2 – zbiornik filtracyjny piaskowy, 3 – zmienny węgiel aktywny

Apolinary L. Kowal, Maria Świdarska-Bróz: Oczyszczanie wody. PWN 1998

$$\text{NO}_3^- + \text{biomasa} \rightarrow \text{biomasa} + \text{HCO}_3^- + \text{OH}^- + \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$$

66

Metody usuwania azotu amonowego:

- Chlorowanie do punktu przełamania
- Wymiana jonowa
- Nityfikacja

Jeżeli stosunek Cl₂ : NH₃ > 7,4 oraz pH < 4,4 zachodzą następujące reakcje tworzenia chloramin:

$$\text{NH}_3 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{NH}_2\text{Cl} + \text{H}^+ + \text{Cl}^-$$

$$\text{NH}_3 + \text{HClO} \rightarrow \text{NH}_2\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$$

$$\text{NH}_3 + 2\text{HClO} \rightarrow \text{NHCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$$

oraz rozkładu:

$$2\text{NH}_2\text{Cl} + \text{HClO} \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$$

$$\text{NH}_2\text{Cl} + \text{NHCl}_2 \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{HCl}$$

Przebieg takiego chlorowania przedstawia krzywa:

Przebieg chlorowania do punktu przełamania: A - zużycie chloru na związki organiczne i nieorganiczne; B - powstawanie chloramin i związków chloroorganicznych; C - rozkład chloramin i związków chloroorganicznych; D - wolny chlor; pozostałe związki organiczne.

67

Nityfikacja:

- długi czas wpracowywania złoża węgla aktywnego (20 dob)
- zużycie tlenu 4,6 g O₂/gN-NH₄⁺

$$\text{NH}_4^+ + 1,5 \text{O}_2 \rightarrow (\text{nitrosomonas}) \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$$

$$\text{NO}_2^- + 0,5 \text{O}_2 \rightarrow (\text{nitrobacter}) \text{NO}_3^-$$

68

Disinfection by-products in the distribution systems

João Menais & Adelaide Lopes
LNEC - Urban Water Division
Av. Brasil, 151
1700-066 Lisbon, Portugal
email: joaomenais@lnec.pt

Produkty uboczne

RAW WATER → DISINFECTANT → RESIDUAL Cl₂ → DISTRIBUTION → CONSUMER

DISINFECTANT → DBP + AOC

DISINFECTANT + NOCl → DISINFECTATION BY-PRODUCTS (DBP)

ASSEMBLABLE ORGANIC CARBON (AOC)

Chlorine
Ozone
Chlorine dioxide
Chloramine

LNEC - Urban Water Division WEKN QW Conference Bratislava, 13 - 15 June 2006

77

Ideal disinfectant:

1. Effective against *Cryptosporidium* oocysts
2. Provides a residual throughout the distribution system
3. Suitable for a broad range of water quality conditions
4. Easily monitored and controlled (preferably "on line")
5. Minimized DBP and AOC formation
6. Suited for easy handling and storage with no complex safety requirements
7. Low cost

Kryptosporidioza – choroba pasożytnicza zajmująca jelita ssaków, wywoływana przez pierwotniaka *Cryptosporidium*. Choroba szerzy się drogą fekalno-oralną, a głównym objawem u ludzi ze sprawnym układem odpornościowym jest samoo graniczająca się biegunka. U osób z upośledzoną odpornością zakażenie może być długotrwałe i zagrażające życiu. Kryptosporidiozę wykryto dopiero w 1976, pomimo tego, że jest to jedna z najczęstszych na świecie chorób przenoszonych wraz z wodą.

Oocysta - zygota występująca u niektórych pierwotniaków pasożytniczych. Otoczona jest grubą osłonką, wewnątrz której zachodzą podziały. Stanowi stadium zakaźne wydostające się na zewnątrz wraz z kałem żywiciela.

78

Chlorine (HOCl + OCl⁻)

Applied to water in the form:

1. elemental chlorine (chlorine gas)
2. hypochlorite solution
3. dry calcium hypochlorite

Advantages:

1. highly effective against most pathogens
2. provides a residual to protect against recontamination
3. easily applied, controlled, and monitored
4. operationally the most reliable
5. the most cost-effective disinfectant

Limitations:

1. formation of organic halogenated-DBP
2. not effective against *Cryptosporidium* oocysts

$Cl_2 + H_2O \rightarrow HClO + HCl$
 $HClO \leftrightarrow H^+ + ClO^-$

79

Dozowanie handlowego NaOCl

Generowanie NaOCl „on site”

Disinfectant	podchloryn sodu - NaOCl
Metoda wytworzenia	elektroliza roztworu siarczki
Stężenie NaOCl	6 g Cl ₂ /l
Wydajność	40-25 kg Cl ₂ /h
Zużycie energii elekt.	4,5 kWh/kgCl ₂
Zużycie soli	3,0 kg/kgCl ₂
Żywotność elektrod	ok. 5-10 lat (brak membran)

Chlorine reacts with caustic catholyte to form sodium hypochlorite and salt.
 $Cl_2 + 2NaOH \rightarrow NaCl + NaOCl$

80

Ozone (O₃)

generated on-site by passing dry oxygen or air through a system of high voltage electrodes

Advantages:

1. strongest oxidant/disinfectant available
2. produces no chlorinated THMs, HAAs
3. at higher concentrations is effective against *Cryptosporidium*
4. degrades organic micropollutants (e.g., cyanotoxins) to some extent

Limitations:

1. inorganic DBP formation (bromate)
2. requires a high level of technical competence
3. provides no protective residual
4. produces AOC and increased DBP formation in distribution systems
5. higher operating and capital costs than chlorination
6. difficult to control and monitor particularly under variable load conditions

Halogenated acetic acids (HAA) are an important type of chlorinated disinfection byproducts.

81

82

Chlorine non-halogenated DBPs

Monocarboxylic acids

- 2,2-dimethyl-1-(2-hydroxy)-2-methyl propanoic acid
- Butanoic acid
- 2-methylbutanoic acid
- Pentanoic acid
- Hexanoic acid
- Heptanoic acid
- Octanoic acid
- Nonanoic acid
- Decanoic acid
- Dodecanoic acid
- Tridecanoic acid
- Tetradecanoic acid
- Pentadecanoic acid
- Hexadecanoic acid
- Heptadecanoic acid

Dicarboxylic acids

- Propanedioic acid
- cis-butenedioic acid
- trans-butenedioic acid
- 2,2-dimethyl butanedioic acid
- Pentanedioic acid
- 2-methylpentanedioic acid
- 2,2-dimethyl pentanedioic acid
- Hexanedioic acid (+2 isomers)
- Heptanedioic acid
- Octanedioic acid
- Nonanedioic acid
- Isomer of nonanedioic acid
- Tridecanoic acid

Aromatic carboxylic acids

- Benzoic acid
- 3-hydroxybenzoic acid
- 3-methylbenzoic acid
- 4-methylbenzoic acid
- 3,4-dihydroxybenzoic acid
- Trihydroxybenzoic acid
- Phenylacetic acid
- 1,2-benzenedicarboxylic acid
- 1,3-benzenedicarboxylic acid
- 1,4-benzenedicarboxylic acid
- Methylbenzenedicarboxylic acid (2 isomers)
- Dimethylbenzenedicarboxylic acid (2 isomers)
- 1,2,3-benzenetricarboxylic acid
- 1,2,3,4-benzenetetracarboxylic acid
- 1,3,5-benzenetricarboxylic acid

Heterocyclic carboxylic acids

- 3-methyl-2-furanicarboxylic acid
- Methylfuranicarboxylic acid

Aromatic nitriles

- Benzonitrile
- Benzeneacetonitrile

Other aromatic compounds

- Benzene
- Toluene
- C3-benzene (2 isomers)

Aliphatic aldehydes

- Formaldehyde
- Acetaldehyde

Aromatic aldehydes

- Benzaldehyde

Ketones


- 3-methyl-2-pentanone
- 3-methyl-1,2,4-cyclopentanetrione

Alcohols

- 1-ethoxy-1-hydroxymethane
- 1-hydroxy-3-methyl-2-hexene

Other heterocyclic compounds

- 1,4-Sioxane
- 1,4-benzodioxin



91

Ozone DBPs

Inorganic compounds

- Bromate
- Hydrobromite
- Hydrogen peroxide

Aliphatic aldehydes

- Formaldehyde
- Cyanoformaldehyde
- Acetaldehyde
- Propanal
- Methylpropanal
- Butanal
- Methylbutanal
- Pentanal
- Methylpentanal
- Hexanal
- Methylhexanal
- 2-hexenal
- Heptanal
- Octanal
- Nonanal
- Decanal
- 2-methyldecanal
- Undecanal
- Dodecanal
- Tridecanal
- Tetradecanal

Dialdehydes

- Glyoxal

Butenedial

- Methyl glyoxal

Nitriles

- Benzeneacetonitrile

Aromatic aldehydes

- Benzaldehyde

Aliphatic ketones

- Acetone
- Dioxobutane
- Dioxopentane
- 3-methylcyclopentanone
- 3-hexanone
- 2,6-bis-1,1-dimethylethyl-2,5-cyclohexadiene-1,4-dione
- 6-methyl-5-hepten-2-one
- 2,6-dimethyl-2,5-heptadiene-4-one
- 8,10-dimethyl-5,9-undecadiene-2-one
- Heptadecanone

Dicarboxylic acids

- tert-butyl-cis-butenedioic acid (tert-butylmaleic acid)
- Oxobutanedioic acid
- Oxopentanedioic acid
- Oxopentanedioic acid
- 4-oxopentanoic acid
- 2-oxobutanedioic acid (ketosuccinic acid)
- oxopentanedioic acid (ketoglutaric acid)

Aromatic acids

- Benzoic acid
- Phthalic acid

Aldoacids

- Glyoxylic acid
- Dioxopropanoic acid

Diketones

- Dimethylglyoxal
- Dioxopentane

Phenols

- 4-methoxy-tert-butylphenol

Other aromatic compounds


- Naphthalene
- Alkanes
- Undecane
- Cyclododecane

Monocarboxylic acids

- 2-methylpropanoic acid
- Pentanoic acid
- 2-methylpentanoic acid
- Heptanoic acid
- Nonanoic acid
- Decanoic acid
- Tridecanoic acid
- Tetradecanoic acid
- Hexadecanoic acid
- Heptadecanoic acid
- Hexadecanoic acid
- Hexadecanoic acid

Ketocids

- Pyruvic acid (2-oxopropanoic acid)
- 1,2-dioxopropanoic acid
- Ketomalonic acid (oxopropanedioic acid)
- Oxobutanoic acid
- Dioxobutanoic acid
- 2-oxopentanoic acid
- 4-oxopentanoic acid
- 2-oxobutanedioic acid (ketosuccinic acid)
- oxopentanedioic acid (ketoglutaric acid)



In the presence of high bromide levels

<p>Inorganic compounds</p> <ul style="list-style-type: none"> Bromate Hydrobromite Trihalomethanes <p>Bromoacetic acids</p> <ul style="list-style-type: none"> Chloroacetic acid 	<p>Bromoketones</p> <ul style="list-style-type: none"> 1,1-dibromoacetone <p>Bromonitriles</p> <ul style="list-style-type: none"> Benzeneacetonitrile <p>Bromonitromethanes</p> <ul style="list-style-type: none"> Bromopicrin (tribromonitromethane)
--	---

92

Chloramine DBPs

Trihalomethanes

- Chloroform
- Bromodichloromethane
- Dibromochloromethane
- Bromoform

Haloaldehydes

- Trichloroacetaldehyde (chloral hydrate)

Haloacetic acids

- Chloroacetic acid
- Dichloroacetic acid
- Trichloroacetic acid
- Bromoacetic acid
- Dibromoacetic acid

Halo ketones


- 1,1-dichloropropanone
- 1,1,1-trichloropropanone

Halonitriles

- Cyanogen chloride
- Dichloroacetonitrile
- Bromochloroacetonitrile
- Dibromoacetonitrile
- Trichloroacetonitrile

Halonitromethanes

- Chloropicrin (trichloronitromethane)
- N-nitrosodimethylamine



93

Chlorine dioxide DBPs

Inorganic compounds

- Chlorite
- Chlorate

Aliphatic monocarboxylic acids

- Butanoic acid
- Pentanoic acid
- Hexanoic acid
- 2-ethylhexanoic acid
- Heptanoic acid
- Octanoic acid
- Nonanoic acid
- Decanoic acid
- Undecanoic acid
- Tridecanoic acid
- Tetradecanoic acid

Dicarboxylic acids

- tert-butylmaleic acid (tert-butyl-cis-butenedioic acid)
- 2-ethyl-3-methyl maleic acid (2-ethyl-2-methyl-cis-butenedioic acid)

Aromatic acids

- Benzoic acid
- Ethyl glyoxal

Aldehydes

- Propanal
- Methylpropanal
- 3-methylbutanal
- Pentanal
- Hexanal
- Heptanal
- Octanal
- Ethylbenzaldehyde

Esters

- Hexanedioic acid
- Dioctyl ester

Halogenated ketones

- 1,1,3,3-tetrachloropropanone

Unsaturated ketones


- 2,3,4-trimethylcyclopent-2-en-1-one
- 2,6,6-trimethyl-2-cyclohexene-1,4-dione

Halogenated aromatics

- (1-chloroethyl)dimethylbenzene

Other aromatic compounds

- 3-ethylstyrene
- 4-ethylstyrene
- Naphthalene
- Ethylbenzaldehyde
- 1-methylnaphthalene
- 2-methylnaphthalene



94


Factors influencing DBP formation

Water quality

- NOM concentration / speciation
- Temperature
- pH
- Bromide

Treatment

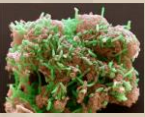
- Disinfectant type and dose
- Coagulant type and dose
- Disinfection contact time
- pH adjustment

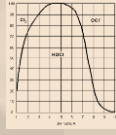


95

DBPs control

- Removal of precursor materials**
 - Coagulation
 - Granular activated carbon adsorption
 - Membrane filtration
 - Powder activated carbon adsorption
- Changing disinfection conditions**
 - Using alternative disinfectant / processes
 - Maintaining a low pH during disinfection (?)
- Removal of DBPs after formation**
 - Oxidation
 - using ozone, chlorine dioxide or ozone in combination with UV
 - Aeration
 - packed column air stripping (packed towers)
 - diffused air stripping (compressed air)
 - Reverse osmosis
 - Granular activated carbon adsorption





96