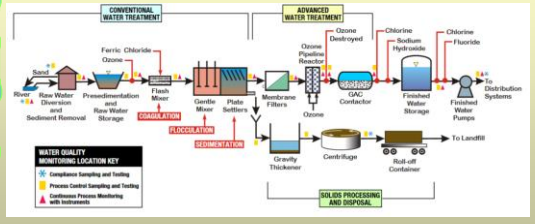
Zaawansowane metody uzdatniania wody i oczyszczania ścieków



1

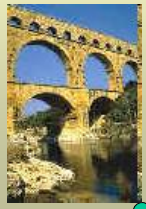
Trochę historii

Pierwsze doniesienia o uzdatnianiu wody do picia pochodzą z roku 2000 p.n.e. W starożytnej Grecji i Indiach stosowano gotowanie, **filtracje na złożach piaskowych i żwirowych**. Nie było metod pozwalających określić jakość wody – parametrem był **smak i mętność wody**.

W okolicy roku 1500 p.n.e Egipcjanie odkryli **koagulację wody**. Stosowano siarczan glinu do osadzania zawiesin wody.

Po roku 500 p.n.e stosowano „filtry workowe". Celem było oddzielenie zawiesin powodujących zły smak i zapach wody.

W latach 300-200 p.n.e Rzymianie zbudowali akwedukty. Archimedes wprowadził „pompę śrubową".



W średniowieczu (lata 500 – 1 500) ujmowanie wody podupadło. W latach tych zwanych „ciemna epoką" brakowało badaczy i eksperymentatorów. Po upadku Cesarstwa Rzymskiego zniszczono wiele akweduktów.
Przyszłość uzdatniania wody stała pod znakiem zapytania.

2

W roku 1627 rozpoczęła się kontynuacja historii uzdatniania wody. Francis Bacon rozpoczął eksperymenty z **odsalaniem wody morskiej**. Próbował on zastosować filtrację na złożach piaskowych – metoda nie dawała rezultatów, ale rozpoczęła nową drogę.

W roku 1670 skonstruowano mikroskop. W roku 1676 zauważono po raz pierwszy **wodne mikroorganizmy**.

W XVIII wieku zastosowano pierwsze „domowe" filtry do uzdatniania wody. Były wykonywane z wełny, gąbki i **węgla drzewnego**.

W roku 1804 pierwsza komunalna stacja uzdatniania wody została zaprojektowana przez Roberta Thom'a w Szkocji. Uzdatnianie wody opierało się na powolnej filtracji na złożu piaskowym. Około trzech lat później ułożono pierwsze rury wodociągowe. Powstała idea zapewnienia każdemu dostępu do bezpiecznej wody pitnej, ale wprowadzenie tego w życie zajęło, w większości krajów, dużo czasu.

W roku 1854 odkryto, że epidemia cholery rozprzestrzenia się przez wodę. Brytyjski naukowiec John Snow odkrył, że przyczyna jest zainfekowanie ściekami pomp wodnych. Ponieważ woda pachniała i smakowała normalnie wnioskowano, że dobry smak i zapach nie gwarantują bezpieczeństwa. **Zastosowano chlor co zapoczątkowało dezynfekcje wody**. Zainspirowało to rządy do stosowania filtrów piaskowych i prowadzenia dezynfekcji, a jednocześnie zapoczątkowało regulacje prawne dotyczące wody pitnej.

3

W roku 1890 rozpoczęto w USA budowę dużych filtrów piaskowych w celu ochrony zdrowia publicznego. W miejsce filtracji powolnej zastosowano **filtrację pospieszną**, jednocześnie stwierdzono, że efekty są znacznie lepsze jeżeli **filtracja poprzedzana jest koagulacją i sedymentacją.**

Zwycięstwo nad epidemiami wynikające z zastosowania chloru nie trwało długo. Po pewnym czasie zaczęto obserwować ujemne skutki jego stosowania. **Uwalniany z wody chlor powodował choroby układu oddechowego**. Zaczęły się poszukiwania nowego środka dezynfekcyjnego.

W roku 1902 zastosowano mieszaninę **podchlorynu sodu** i chlorku żelaza na stacji uzdatniania wody w Belgii prowadząc w ten sposób zarówno koagulacje jak i dezynfekcję wody.

W roku 1906 po raz pierwszy zastosowano we Francji **ozon** jako środek dezynfekcyjny. Dodatkowo mieszkańcy instalowali filtry domowe w celu ochrony przed ujemnymi efektami działania chloru w wodzie.

4

W roku 1903 wprowadzono **zmiękczanie wody**. Kationy usuwane były z wody przez ich wymianę na kationy sodu lub inne w **wymieniaczach jonowych**.

Ostatecznie w roku 1914 wprowadzono standardy jakościowe dla wody pitnej. W roku 1940 standardy te stosowano do komunalnych wód pitnych.
Ogólna zasadą jest obecnie, że każda osoba ma prawo do bezpiecznej wody pitnej.

Począwszy od roku 1970 następuje przesunięcie uwagi z zagadnień dotyczących chorób powodowanych mikroorganizmami wodnymi na **antropogeniczne zanieczyszczenia wody**. Nowe regulacje skupiają się na zanieczyszczeniach przemysłowych i wprowadzane są nowe techniki uzdatniania wód. Stosuje się napowietrzanie, flokulację i adsorpcję na węglu aktywnym. W latach 1980 rozpoczyna się praktyczne stosowanie **odwróconej osmozy**.

W chwili obecnej w systemach uzdatniania wody zwraca się głównie uwagę na **uboczne produkty dezynfekcji**. Przykładem jest tworzenie się **THM** podczas dezynfekcji chlorem.

Wg: ***History of water treatment. Created by S.M. Enzler MSc .***
History of drinking water treatment. Lenntech BV-Water treatment solutions.

5

Zadania własne gminy obejmują

1) ład przestrzelmy, gospodarkę terenową i ochronę środowiska.
2) drogi gminne, ulice, mosty, place oraz organizację ruchu drogowego,
3) **wodociągi oraz zaopatrzenie w wodę**, kanalizację, usuwanie śmieci komunalnych, utrzymywanie czystości oraz urządzeń sanitarnych i wysypisk, utylizację odpadów komunalnych, zaopatrzenie w energię elektryczną i cieplną,
4) lokalny transport zbiorowy,
5) ochronę zdrowia,
6) pomoc społeczną, w tym ośrodki i zakłady opiekuńcze,
7) komunalne; budownictwo mieszkaniowe,
8) oświatę, w tym szkoły podstawowe, przedszkola i inne placówki oświatowo-wychowawcze,
9) kulturę, w tym biblioteki komunalne i inne placówki upowszechniania kultury,
10) kulturę fizyczną, w tym tereny rekreacyjne i urządzenia sportowe,
11) targowiska i hale targowe,
12) zieleń komunalną i zadrzewienie,
13) cmentarze komunalne,
14) porządek publiczny i ochronę przeciwpożarową
15) utrzymanie gminnych obiektów i urządzeń użyteczności publicznej oraz obiektów administracyjnych.

6

ROZPORZĄDZENIE Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej

z dnia 29 sierpnia 2019 r.

w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia.

Dz.U. 2019 poz. 1747 – status na XI 2024 – obowiązujący
Internetowy System Aktów Prawnych (isap.sejm.gov.pl)

Ustala się trzy kategorie jakości wody~~, w zależności od wartości granicznych wskaźników jakości wody, które z uwagi na ich zanieczyszczenie muszą być poddane standardowym procesom uzdatniania, w celu uzyskania wody przeznaczonej do spożycia~~:

1) **kategoria A1** — wody wymagające prostego uzdatniania fizycznego, w szczególności filtracji oraz dezynfekcji;

2) **kategoria A2** — wody wymagające typowego uzdatniania fizycznego i chemicznego, w szczególności utleniania, koagulacji, flokulacji, dekantacji, filtracji, dezynfekcji przez chlorowanie końcowe);

3) **kategoria A3** — wody wymagające wysokosprawnego uzdatniania fizycznego i chemicznego lub metod biologicznych, w szczególności utleniania, koagulacji, flokulacji, dekantacji, filtracji, adsorpcji na węglu aktywnym oraz dezynfekcji przez ozonowanie lub chlorowanie końcowe.

7

WYMAGANIA, JAKIM POWINNY ODPOWIADAĆ KATEGORIE JAKOŚCI WÓD A1–A3

Lp.	Wskaźniki jakości wody	Jednostki miary	Wartości graniczne wskaźników jakości wody[1)]		
			A1	A2	A3
			dopuszczalne	dopuszczalne	dopuszczalne
1	2	3	4	5	6
1	Stężenie jonów wodoru (pH)		6,5–8,5	5,5–9,0	5,5–9,0
2	Barwa	mg/l	20*[2)]	100*[2)]	200*[2)]
3	Zawiesiny ogólne	mg/l	25	30	35
4	Temperatura	°C	25*[2)]	25*[2)]	25*[2)]
5	Przewodność elektryczna właściwa	µS/cm w temperaturze 25°C	1000	1000	1000
6	Zapach	stopień rozcieńczenia w temperaturze 25°C	3	10	20
7	Azotany	mg/l	50*[2)]	50*[2)]	50*[2)]
8	Fluorki	mg/l	1,5*	1,5	1,5

8

9	Żelazo	mg/l	0,3*	2*	2
10	Mangan	mg/l	0,05	0,1	1
11	Miedź	mg/l	0,05*[2)]	0,05	0,5
12	Cynk	mg/l	3*	5*	5*
13	Bor	mg/l	1	1	1
14	Nikiel	mg/l	0,05	0,05	0,2
15	Arsen	mg/l	0,05*	0,05*	0,05*
16	Kadm	mg/l	0,005*	0,005*	0,005*
17	Chrom ogólny	mg/l	0,05*	0,05*	0,05*
18	Chrom[6)]	mg/l	0,02*	0,02*	0,02*
19	Ołów	mg/l	0,05*	0,05*	0,05*
20	Selen	mg/l	0,01*	0,01*	0,01*
21	Rtęć	mg/l	0,001*	0,001*	0,001*
22	Cyjanki	mg/l	0,05*	0,05*	0,05*
23	Siarczany	mg/l	250*	250*	250*
24	Chlorki	mg/l	250	250	250
25	Fenole (indeks fenolowy)	mg/l	0,001*	0,005*	0,1*
26	Rozpuszczone lub emulgowane węglowodory (ekstrahujące się eterem naftowym)	mg/l	0,05*	0,2*	1*

9

27	Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne	mg/l	0,0002*	0,0002*	0,001*
28	Σ pestycydów[3), 4)]	mg/l	0,001*	0,0025*	0,005*
29	Chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT)	mg/l	25	30	30
30	Tlen rozpuszczony	% nasycenia tlenem	>70	>50	>30
31	Pięciodobowe biochemiczne zapotrzebowanie tlenu (BZT_5)	mg/l	<3	<5	<7
32	Azot Kjeldahla	mg/l	1	2	3
33	Jon amonu	mg/l	0,5	1,5*	2*[2)]
34	Ogólny węgiel organiczny	mg/l	5	10	15
35	Bakterie grupy coli	liczba jednostek tworzących kolonie (jtk) lub najbardziej prawdopodobna liczba (NPL) w 100 ml wody	50	5000	50000

10

36	*Escherichia coli*	liczba jednostek tworzących kolonie (jtk) lub najbardziej prawdopodobna liczba (NPL) w 100 ml wody	20	2000	20 000
37	Enterokoki	liczba jednostek tworzących kolonie (jtk) lub najbardziej prawdopodobna liczba (NPL) w 100 ml wody	20	1000	10 000

Objaśnienia:

1) Wartości graniczne wskaźników jakości wody oznaczają:
   1) najniższą wartość w przypadku wskaźnika w lp. 30 (tlen rozpuszczony);
   2) najwyższą i najniższą wartość w przypadku wskaźnika w lp. 8 (fluorki), ustalone w odniesieniu do średniej temperatury rocznej;
   3) najniższą i najwyższą wartość w przypadku wskaźnika w lp. 1 (stężenie jonów wodoru (pH));
   4) najwyższe wartości w pozostałych przypadkach.
2) Odstępstwa dopuszczalne z powodu wyjątkowych warunków określonych w § 4 ust. 2 rozporządzenia.
3) Termin „pestycydy" obejmuje organiczne: insektycydy, herbicydy, fungicydy, nematocydy, akarycydy, algicydy, rodentycydy oraz ślimacydy, a także produkty pochodne (m.in. regulatory wzrostu) oraz ich pochodne metabolity, a także produkty ich rozkładu i reakcji. Należy oznaczać jedynie te pestycydy, których występowania w wodzie można oczekiwać w danej strefie zaopatrzenia w wodę.
4) Σ pestycydów oznacza sumę poszczególnych pestycydów wykrytych i oznaczonych ilościowo w ramach przeprowadzania analizy próbek wody.

11

USTAWA
z dnia 20 lipca 2017 r.
Prawo wodne

Dz.U. 2017 poz. 1566
Tekst jednolity
Dz.U. 20214 poz. 1087 z póź. zm.

Korzystanie z wód i usługi wodne

Art. 29. Korzystanie z wód nie może powodować pogorszenia stanu wód i ekosystemów od nich zależnych, z wyjątkiem przypadków określonych w ustawie, w szczególności nie może naruszać ustaleń planu gospodarowania wodami na obszarze dorzecza, powodować marnotrawstwa wody lub marnotrawstwa energii wody, a także nie może wyrządzać szkód.

Art. 30. Wody podziemne wykorzystuje się przede wszystkim do zaopatrzenia w wodę przeznaczoną do spożycia przez ludzi.

Art. 31. 1. Dopuszcza się korzystanie z każdej wody w rozmiarze i w czasie wynikających z konieczności:

1) zwalczania poważnych awarii, klęsk żywiołowych, pożarów lub innych miejscowych zagrożeń;
2) zapobieżenia poważnemu i nagłemu niebezpieczeństwu grożącemu życiu lub zdrowiu ludzi albo mieniu znacznej wartości, którego w inny sposób nie można uniknąć.

12

klasa I – wody bardzo dobrej jakości, w których wartości elementów fizykochemicznych:
a) są kształtowane wyłącznie w efekcie naturalnych procesów zachodzących w wodach podziemnych i mieszczą się w zakresie tła hydrogeochemicznego,
b) nie wskazują na wpływ działalności człowieka;

klasa II – wody dobrej jakości, w których:
a) wartości niektórych elementów fizykochemicznych są podwyższone w wyniku naturalnych procesów zachodzących w wodach podziemnych,
b) wartości elementów fizykochemicznych nie wskazują na wpływ działalności człowieka albo wpływ ten jest bardzo słaby;

klasa III – wody zadowalającej jakości, w których wartości elementów fizykochemicznych są podwyższone w wyniku:
a) naturalnych procesów zachodzących w wodach podziemnych lub
b) słabego wpływu działalności człowieka;

klasa IV – wody niezadowalającej jakości, w których wartości elementów fizykochemicznych:
a) są podwyższone w wyniku naturalnych procesów zachodzących w wodach podziemnych,
b) wskazują na wyraźny wpływ działalności człowieka;

klasa V – wody złej jakości, w których wartości elementów fizykochemicznych wskazują na znaczący wpływ działalności człowieka.

13

Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 11 października 2019 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych

Dz.U. 2019 poz. 2148 – status na XI 2024 – obowiązujący

WARTOŚCI GRANICZNE ELEMENTÓW FIZYKOCHEMICZNYCH STANU WÓD PODZIEMNYCH

Lp.	Numer CAS[1] dla substancji chemicznych	Element fizykochemiczny	Jednostka	Tło hydrogeochemiczne	Wartości graniczne[2] w klasach jakości				
					I	II	III[3]	IV	V
	Elementy ogólne:								
1	Brak	Odczyn pH		6,5-8,5	6,5-9,5			<6,5 lub >9,5	
2	Brak	Ogólny węgiel organiczny	mg C/l	1-10	5	10[4]	10[4]	20	>20
3	Brak	Przewodność elektrolityczna właściwa w 20°C	μS/cm	200-700	700	2500[4]	2500[4]	3000	>3000
4	Brak	Temperatura	°C	4-20	<10	12	16	25	>25
5	80937-33-3	Tlen rozpuszczony	mg O_2/l	0-5	>1	0,5-1	<0,5[4]	<0,5[4]	<0,5[4]
	Elementy nieorganiczne:								
6	8007-57-6	Amonowe jony	mg NH_4/l	0-1	0,5	1,0	1,5	3	>3
7	35734-21-5	Antymon [H]	mg Sb/l	0-0,001	0,005[4]	0,005[4]	0,005[4]	0,1	>0,1
8	7440-38-2	Arsen [H]	mg As/l	0,00005-0,020	0,01[4]	0,01[4]	0,02	0,2	>0,2
9	84145-82-4	Azotany [H]	mg NO_3/l	0-5	10	25	50	100	>100
10	14797-65-0	Azotyny [H]	mg NO_2/l	0-0,03	0,03	0,15	0,5	1	>1
11	7440-39-3	Bar	mg Ba/l	0,01-0,3	0,3	0,5	0,7	3	>3
12	1932-52-9	Beryl	mg Be/l	0-0,0005	0,0005	0,05	0,1	0,2	>0,2
13	7440-42-8	Bor [H]	mg B/l	0,01-0,50	0,5	1[4]	1[4]	2	>2
14	Brak	Chlorki	mg Cl/l	2-60	60	150	250	500	>500
15	7440-47-3	Chrom [H]	mg Cr/l	0,0001-0,010	0,01	0,05[4]	0,05[4]	0,1	>0,1
16	57-12-5	Cyjanki wolne [H]	mg CN/l	0	0,01	0,05[4]	0,05[4]	0,1	>0,1
17	Brak	Cyna	mg Sn/l	0-0,02	0,02	0,1	0,2	2	>2
18	7440-66-6	Cynk	mg Zn/l	0,005-0,050	0,05	0,5	1	2	>2
19	Brak	Fluorki [H]	mg F/l	0,05-0,5	0,5	1	1,5	2	>2
20	264888-19-9	Fosforany	mg PO_4/l	0,01-1,0	0,5[4]	0,5[4]	1	5	>5
21	7429-90-5	Glin [H]	mg Al/l	0,05-0,1	0,1	0,2[4]	0,2[4]	1	>1

14

22	7440-43-9	Kadm [H]	mg Cd/l	0,0001-0,0005	0,001	0,003	0,005	0,01	>0,01
23	7440-48-4	Kobalt	mg Co/l	0-0,001	0,02	0,05	0,2	1	>1
24	7439-95-4	Magnez	mg Mg/l	0,5-30	30	50	100	150	>150
25	7439-96-5	Mangan	mg Mn/l	0,01-0,4	0,05	0,4	1[4]	1[4]	>1
26	7440-50-8	Miedź	mg Cu/l	0,001-0,020	0,01	0,05	0,2	0,5	>0,5
27	7439-98-7	Molibden	mg Mo/l	0-0,003	0,003	0,02[4]	0,02[4]	0,03	>0,03
28	7440-02-0	Nikiel [H]	mg Ni/l	0,001-0,005	0,005	0,01	0,02	0,1	>0,1
29	7439-92-1	Ołów [H]	mg Pb/l	0,001-0,010	0,01	0,025	0,1[4]	0,1[4]	>0,1
30	Brak	Potas	mg K/l	0,5-10	10[4]	10[4]	15	20	>20
31	7439-97-6	Rtęć [H]	mg Hg/l	0,00005-0,001	0,001[4]	0,001[4]	0,001[4]	0,005	>0,005
32	7782-49-2	Selen [H]	mg Se/l	0,00001-0,005	0,005	0,01[4]	0,01[4]	0,05	>0,05
33	14808-79-8	Siarczany	mg SO_4/l	5-60	60	250[4]	250[4]	500	>500
34	7440-23-5	Sód	mg Na/l	1-60	60	200[4]	200[4]	300	>300
35	7440-22-4	Srebro [H]	mg Ag/l	0-0,001	0,001	0,05	0,1[4]	0,1[4]	>0,1
36	15035-09-3	Tal	mg Tl/l	0-0,00001	0,001	0,01	0,02	0,1	>0,1
37	7440-32-6	Tytan	mg Ti/l	0-0,01	0,01	0,05	0,1	0,5	>0,5
38	15117-96-1	Uran	mg U/l	0,000003-0,0003	0,009	0,009	0,03	0,1	>0,1
39	14867-38-0	Wanad	mg V/l	0,000006-0,004	0,004	0,02	0,05	0,5	>0,5
40	14127-61-8	Wapń	mg Ca/l	2-200	50	100	200	300	>300
41	71-52-3	Wodorowęglany	mg HCO_3/l	60-360	200	350	500	800	>800
42	7439-89-6	Żelazo	mg Fe/l	0,02-5	0,2	1	5	10	>10
	Elementy organiczne:								
43	Brak	AOX [H] – adsorbowalne związki chloroorganiczne	mg Cl/l	0-0,0001	0,01	0,02	0,06	0,3	>0,3
44	50-32-8	Benzo(a)piren [H]	mg/l	0,000001-0,00001	0,00001	0,00002	0,00003	0,00005	>0,00005
45	71-43-2	Benzen [H]	mg/l	0	0,001	0,005	0,01	0,1	>0,1
46	Brak	BTX [H] – lotne węglowodory aromatyczne	mg/l	0	0,005	0,03	0,1[4]	0,1[4]	>0,1
47	Brak	Fenole (indeks fenolowy)	mg/l	0-0,001	0,001	0,005	0,01	0,05	>0,05
48	Brak	Węglowodory ropopochodne – indeks oleju mineralnego [H]	mg/l	0	0,01	0,1	0,3	5	>5

15

49	Brak	Pestycydy[5], [H]	mg/l	0	0,0001[4]	0,0001[4]	0,0001[4]	0,005	>0,005
50	Brak	Suma pestycydów[6], [H]	mg/l	0	0,0005[4]	0,0005[4]	0,0005[4]	0,0025	>0,0025
51	Brak	Substancje powierzchniowo czynne anionowe	mg/l	0	0,1	0,2	0,5	1	>1
52	Brak	Substancje powierzchniowo czynne anionowe i niejonowe	mg/l	0	0,1	0,2	0,5	1	>1
53	127-18-4	Tetrachloroeten [H]	mg/l	0-0,0005	0,001	0,01	0,05	0,1	>0,1
54	79-01-6	Trichloroeten [H]	mg/l	0-0,003	0,001	0,01	0,05	0,1	>0,1
55	Brak	Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA)[7], [H]	mg/l	0,000001-0,0001	0,0001	0,0002	0,0003	0,0005	>0,0005

Objaśnienia:
1) Numer Chemical Abstracts Service (CAS).
2) W przypadku metali podane wartości graniczne odnoszą się do ich formy rozpuszczonej.
3) Wartości graniczne dla III klasy jakości wód podziemnych są wartościami progowymi dla dobrego stanu chemicznego.
4) Brak dostatecznych podstaw do zróżnicowania wartości granicznych w niektórych klasach jakości wód podziemnych. Przy klasyfikacji elementów fizykochemicznych przyjmuje się klasę o najwyższej jakości spośród klas posiadających tę samą wartość graniczną.
5) Pojęcie „pestycydy" obejmuje: insektycydy, herbicydy, fungicydy, nematocydy, akarycydy, algicydy, rodentycydy, slimicydy, ich produkty pochodne i ich pochodne metabolity, a także produkty ich rozkładu i reakcji. Oznacza się tylko te pestycydy, których występowania w wodach podziemnych można oczekiwać. Określone dla pestycydów wartości graniczne stosuje się do każdego pestycydu.
6) Suma pestycydów oznacza sumaryczną zawartość poszczególnych pestycydów wykrytych i oznaczonych ilościowo w ramach badań monitoringowych.
7) Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) obejmują sumę: benzo(a)pirenu, benzo(b)fluorantenu, benzo(k)fluorantenu, benzo(g,h,i)perylenu, dibenzo(a,h)antracenu oraz indeno(1,2,3-cd)pirenu.
H) Element fizykochemiczny, dla którego nie dopuszcza się przekroczenia wartości granicznej przy określaniu klasy jakości wód podziemnych w punkcie pomiarowym.

16

Listopad 2024 ponad 219 milionów organicznych i nieorganicznych substancji
Listopad 2023 - ponad 204 mln.
Październik 2021 – ponad 188 mln.
(Maj 2021 – 182 mln; Czerwiec 2020 – 161 mln.)

Zarejestrowanych w bazie CAS, na dzień 30.05.2017:

130,113,402 ORGANIC AND INORGANIC SUBSTANCES TO DATE

(09.06.2015: 98 951 937)
(25.10.2012: 69 125 327)

Chemical Abstracts Service – największa na świecie chemiczna naukowa baza danych, będąca własnością American Chemical Society. CAS to także nazwa instytucji zajmującej się tworzeniem tej bazy danych.

https://www.cas.org/about/cas-content

17

Tabela 2. Wymagania organoleptyczne i fizykochemiczne

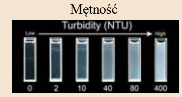
Lp.	Parametr	Wartość parametryczna[4]	Jednostka	Objaśnienia
1.	Glin (Al)	200	μg/l	
2.	Jon amonu	0,50	mg/l	
3.	Barwa	Akceptowalna przez konsumentów i bez nieprawidłowych zmian		5)
4.	Chlorki	250	mg/l	6)
5.	Mangan	50	μg/l	
6.	Mętność	Akceptowalna przez konsumentów i bez nieprawidłowych zmian. Zalecany zakres wartości do 1,0	NTU	7)
7.	Ogólny węgiel organiczny (OWO)	Bez nieprawidłowych zmian		8)
8.	Stężenie jonów wodoru (pH)	6,5-9,5		6) i 9)
9.	Przewodność elektryczna	2.500	μS/cm	6) i 10)
10.	Siarczany	250	mg/l	6)
11.	Smak	Akceptowalny przez konsumentów i bez nieprawidłowych zmian		
12.	Sód	200	mg/l	
13.	Utlenialność z $KMnO_4$	5,0	mg/l O_2	11)
14.	Zapach	Akceptowalny przez konsumentów i bez nieprawidłowych zmian		
15.	Żelazo	200	μg/l	

4) W przypadku podania jednej wartości dolna wartość zakresu wynosi zero.
5) Pożądana wartość tego parametru w wodzie w kranie konsumenta – do15 mg Pt/l.
6) Parametr powinien być uwzględniony przy ocenie agresywnych właściwości korozyjnych wody.
7) W przypadku uzdatniania wody powierzchniowej należy dążyć do osiągnięcia wartości parametrycznej nieprzekraczającej 1,0 NTU (nefelometrycznych jednostek mętności) w wodzie po uzdatnieniu.
8) Nie musi być oznaczany dla produkcji wody mniejszych niż 10 000 m³ dziennie.
9) W odniesieniu do wody niegazowanej rozlewanej do butelek lub pojemników wartość minimalna może zostać obniżona do 4,5 jednostek pH. Dla wody rozlewanej do butelek lub pojemników z natury bogatej w ditlenek węgla lub sztucznie wzbogaconej ditlenkiem węgla wartość minimalna może być niższa.
10) Oznaczana w temperaturze 25°C.
11) Nie musi być oznaczany, jeżeli badane jest OWO.

Rozporządzenie Ministra Zdrowia
z dnia 7 grudnia 2017 roku
w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi

Dz.U. 2017 poz. 2294 – status na XI 2024 - obowiązujące

Mętność



18

B. Parametry chemiczne

Lp.	Parametry	Wartość parametryczna	Jednostka	Objaśnienia
1.	Akryloamid	0,10	µg/l	4)
2.	Antymon	5,0	µg/l	
3.	Arsen	10	µg/l	
4.	Azotany	50	mg/l	5)
5.	Azotyny	0,50	mg/l	5)
6.	Benzen	1,0	µg/l	
7.	Benzo(a)piren	0,010	µg/l	
8.	Bor	1,0	mg/l	
9.	Bromiany	10	µg/l	6)
10.	Chlorek winylu	0,50	µg/l	4)
11.	Chrom	50	µg/l	
12.	Cyjanki	50	µg/l	
13.	1,2-dichloroetan	3,0	µg/l	
14.	Epichlorohydryna	0,10	µg/l	4)
15.	Fluorki	1,5	mg/l	
16.	Kadm	5,0	µg/l	
17.	Miedź	2,0	mg/l	6), 7), 8)
18.	Nikiel	20	µg/l	6)
19.	Ołów	10	µg/l	6)
20.	Pestycydy	0,10	µg/l	4), 9), 5)
21.	Σ pestycydów	0,50	µg/l	4), 10)
22.	Rtęć	1,0	µg/l	

1) Wartość odnosi się do stężenia pozostałości monomeru w wodzie, obliczonego zgodnie ze specyfikacjami maksymalnego uwalniania z odpowiedniego polimeru w kontakcie z wodą.
Warunek: [azotany]/50+[azotyny]/3 ≤ 1, gdzie wartości w nawiasach kwadratowych oznaczają stężenia azotanów (NO_3^-) i azotynów (NO_2^-) w mg/l. Stężenie azotynów w wodzie uzdatnianej wprowadzanej do sieci wodociągowej lub innych urządzeń dystrybucji nie może przekraczać wartości 0,10 mg/l.
W sieciach rozdzielczych bez sprawnego wpływu na dezynfekcję powinno dążyć się do osiągnięcia niższej wartości.
Wartość stosuje się do próbki wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi otrzymanej odpowiednią metodą pobierania próbek z kranu oraz pobranej w taki sposób, by była reprezentatywna dla średniej tygodniowej spożywanej przez konsumentów, z uwzględnieniem okresowych krótkotrwałych wzrostów stężeń.
Wartość dopuszczalna, jeżeli nie powoduje zmiany barwy wody spowodowanej ogniwem korozyjnym wewnątrz dla rur miedzianych.
Termin „pestycydy" obejmuje organiczne: insektycydy, herbicydy, fungicydy, nematocydy, akarycydy, algicydy, rodentycydy, silnikowy, a także produkty pochodne (m.in. regulatory wzrostu) oraz ich pochodne metabolity, a także produkty ich rozkładu i reakcji. Należy oznaczać jedynie te pestycydy, których występowanie w wodzie można oczekiwać w danej strefie zaopatrzenia w wodę.
Wartość stosuje się do każdego poszczególnego pestycydu. W przypadku aldryny, dieldryny, heptachloru i epoksydu heptachloru wartość parametryczna wynosi 0,030 µg/l.
Σ pestycydów oznacza sumę poszczególnych pestycydów wykrytych i oznaczonych ilościowo w ramach monitoringu.

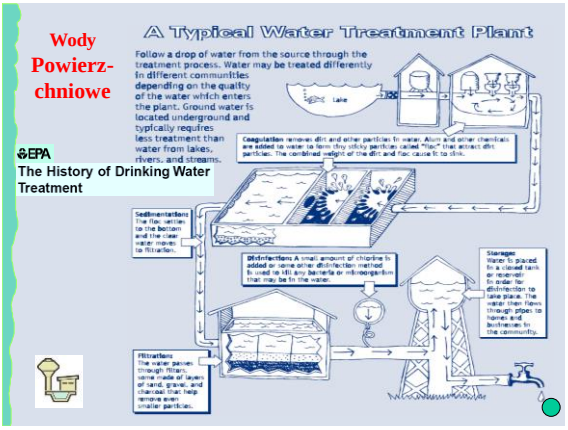
19

Lp.	Parametry	Wartość parametryczna[1)]	Jednostka	Objaśnienia
1.	Magnez	7–125	mg/l	4)
2.	Srebro	0,010	mg/l	7) i 8)
3.	Twardość	60–500	mg/l	9)

Objaśnienia:
1) W przypadku podania jednej wartości dolna wartość zakresu wynosi zero.
2) W punkcie czerpalnym u konsumenta, jeżeli woda jest dezynfekowana chlorem lub jego związkami.
3) Dopuszczalne stężenie wolnego chloru w zbiorniku magazynującym wodę w środkach transportu lądowego, powietrznego lub wodnego wynosi 0,3–0,5 mg/l.
4) W punkcie czerpalnym u konsumenta, jeżeli woda jest dezynfekowana dwutlenkiem chloru.
5) W punkcie, w którym woda jest wprowadzana do sieci, jeżeli ozon jest stosowany w procesie uzdatniania lub dezynfekcji wody.
6) Nie więcej niż 30 mg/l magnezu, jeżeli stężenie siarczanów jest równe lub większe od 250 mg/l. Przy niższej zawartości siarczanów dopuszczalne stężenie magnezu wynosi 125 mg/l; wartość zalecana ze względów zdrowotnych – oznacza, że jest pożądana dla zdrowia ludzkiego, ale nie nakłada obowiązku uzupełniania minimalnej zawartości podanej w niniejszym załączniku przez przedsiębiorstwo wodociągowo-kanalizacyjne.
7) W punkcie czerpalnym u konsumenta, jeżeli materiały i wyroby stosowane do dystrybucji i uzdatniania wody zawierają dodatek srebra.
8) Dopuszczalny zakres wartości dla ciepłej wody dezynfekowanej jonami srebra w budynkach zamieszkania zbiorowego może wynosić do 0,05 mg/l.
9) W przeliczeniu na węglan wapnia; wartość zalecana ze względów zdrowotnych – oznacza, że jest to wartość pożądana dla zdrowia ludzkiego, ale nie nakłada obowiązku uzupełniania, przez przedsiębiorstwo wodociągowo-kanalizacyjne, minimalnej zawartości podanej w części D tabeli 2 niniejszego załącznika.

20

Wody Powierz-chniowe



EPA
The History of Drinking Water Treatment

21

Procesy w stacji uzdatnia wody „Miedwie"

1. Czerpanie i pompowanie wody z jeziora Miedwie (pompownia P1)
2. Utlenianie wstępne – ozonowanie
3. Koagulacja i sedymentacja
4. Filtracja pospieszna – złoże antracytowo-piaskowe
5. Ozonowanie pośrednie
6. Adsorpcja na filtrach węglowych
7. Dezynfekcja dwutlenkiem chloru

22

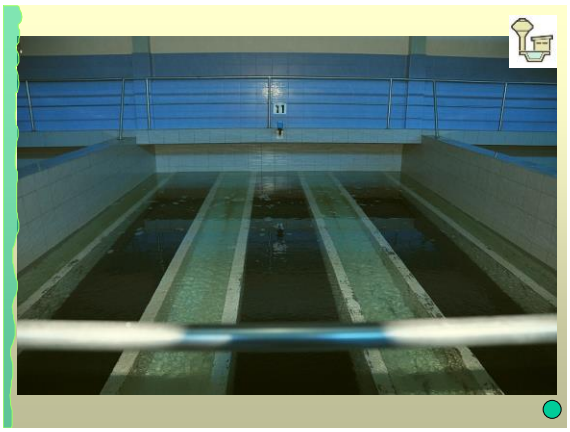
23

24

25

26

27



28

29

30

Wody podziemne

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

Stacja uzdatniania wody w Pilichowie

31

32

33

34

35

Advance Groundwater Treatment
Iron, Manganese, Fluoride and Boron Removal

Usuwanie żelaza i manganu

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

IHE DELFT

Żelazo

- Czwarty 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)

36

Metody usuwania żelaza

- **Utlenianie i filtracja pośpieszna na złożach piaskowych**
  Utlenianie 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 każdych osadów glaukonitowych.

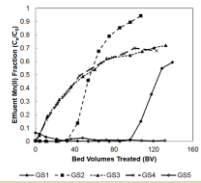
Glaukonit – minerał z gromady krzemianów,
glaukos = niebieskozielony

37

Table 2: Elemental weight percentages (wt%) of greensand materials

Element	GS1	GS2	GS3	GS4	GS5
Na	0.092	<0.020	0.122	0.018	0.028
Mg	0.037	<0.020	0.062	0.101	0.165
Al	0.969	0.557	0.883	0.459	1.25
Si	43.4	45.3	3.14	5.59	16.5
P	0.025	0.012	0.183	0.251	0.207
S	0.004	0.007	ND	ND	ND
K	0.898	0.485	0.790	0.164	0.308
Ca	0.016	0.021	0.065	0.169	0.261
Ti	0.026	0.025	ND	ND	ND
Mn	1.99	0.346	37.0	31.9	15.9
Fe	0.108	<0.0010	5.50	9.36	11.9
Ba	ND	ND	0.329	7.85	0.099

* ND – Not detected



Comparative Analysis of the Physical, Chemical and Structural Characteristics and Performance of Manganese Greensands.
John G. Outram, Sara J. Couperthwaite, Graeme J. Millar
Institute for Future Environments and 1 School of Chemistry, Physics & Mechanical Engineering, Queensland University of Technology (QUT). Queensland, Australia

38

Utlenianie żelaza(II)

Forms of Iron

- Fe (II) - rozpuszczony (brak tlenu)
- Fe (III) - nierozpuszczalny (obecność tlenu)

Reakcje utleniania

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

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

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

1 mg Fe wymaga dostarczenia 0,14 mg tlenu (stechiometrycznie)

39

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**

40

Utlenianie i mechanizm formowania flokul

Podejście konwencjonalne

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

$Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} \uparrow\downarrow Fe(OH)^{2+} \uparrow\downarrow Fe(OH)_2^+ \uparrow\downarrow Fe(OH)_3$

Aglomeracja wodorotlenków żelaza

Krystalizacja → Mikroflokuły → Filtracja

41

Biologiczne usuwanie żelaza

- **Utlenianie żelaza(II) do żelaza(III) przez bakterie**
  (*Gallionella, Crenothrix, Sphaerotilus-Lepothrix)*
- **Bakterie uzyskują energię z procesu utleniania**

$$4Fe^{2+} + O_2 + 10\,H_2O = 4\,Fe(OH)_3 + 8H^+ + Q\ cal.$$

- **Optymalny odczyn pH 6 – 8**
- **Optymalna temperatura**
  10- 15° C(*Gallionella*) , 20 - 25°C (*Spahaerotilus - Lepothrix)*

Ograniczenia:

- **Nie w pełni wyjaśniony mechanizm**
- **Zależność od temperatury i jakości wody**
- **Duży wpływ odczynu wody**

42

Mangan w wodach podziemnych

Występuje głównie jako Mn^{+2} (rozpuszczony)

Zazwyczaj towarzyszy mu Fe^{+2}

- Powoduje, podobne jak żelazo, problemy
- Smak i „zabrudzenia" są wyraźniejsze niż w przypadku żelaza

Standardy

WHO	0.1 mg/l	Wartość zalecana
EC	0.02 mg/l	Pożądane, maksymalne akceptowalne stężenie (MAC) – 0,05 mg/L

43

Usuwanie manganu

Utlenianie → filtracja na pospiesznych filtrach piaskowych

- Autokatalityczne utlenianie
  O_2, Cl_2, $KMnO_4$
  Manganese green sand
- Utlenianie biologiczne

$$6Mn^{2+} + O_2 + 6H_2O \rightarrow 2Mn_3O_4 + 12H^+$$
$$2Mn_3O_4 + 2O_2 \rightarrow 6MnO_2$$
$$6Mn^{2+} + 3O_2 + 6H_2O \rightarrow 6MnO_2 + 12H^+$$

1 mg Mn wymaga dostarczenia 0,29 mg tlenu (stechiometrycznie)

44

Usuwanie manganu

- Utlenianie jest bardzo wolne w roztworach o odczynie niższym niż 8,6 pH
- W pośpiesznych filtrach piaskowych utlenianie może mieć miejsce jeżeli odczyn jest wyższy niż 7,0 pH
- Szybkość utleniania Mn^{+2} w pośpiesznych filtrach piaskowych jest znacznie mniejsza niż ta dla Fe^{+2}
- Mn_3O_4 działa jako katalizator, na którym Mn^{+2} jest adsorbowany i następnie utlenia się do Mn_3O_4 podczas gdy „starszy" Mn_3O_4 utlenia się do MnO_2

45

Usuwanie manganu

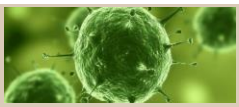
Autokatalityczne utlenianie przebiega wg schematu

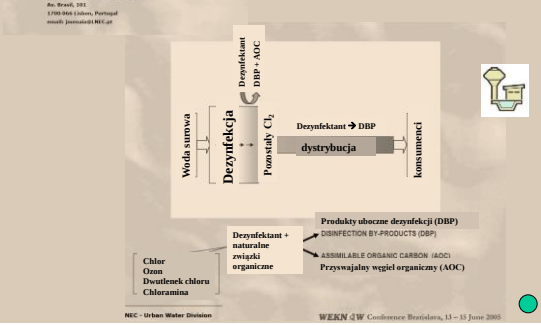
$$Mn(II) + 1/2\ O_2 \rightarrow MnO_2\ (s) \quad \text{wolno}$$
$$Mn(II) + MnO_2\ (s) \rightarrow Mn(II).MnO_2\ (s) \quad \text{szybko}$$
$$Mn(II).MnO_2\ (s) + 1/2\ O_2 \rightarrow 2MnO_2 + (s) \quad \text{wolno}$$

Produkt utleniania Mn(II) nie jest stechiometryczny i ma różne stopnie utleniania w zakresie od $MnO_{1,3}$ do $MnO_{1,9}$ (30 do 90% utlenienia do MnO_2) w zależności od zasadowości wody.

46

Uboczne produkty dezynfekcji w systemach dystrybucji wody





62

Chlor

Chlor gazowy – Cl_2

Chlor może przyjmować różne stopnie utlenienia −1, +1, +3, +5, lub +7 przybierając, odpowiednio, formę anionów Cl^-, ClO^-, ClO_2^-, ClO_3^-, lub ClO_4^- (chlorki, podchloryny, chloryny, chlorany i nadchlorany)

Chlorki Cl^- – sole kwasu solnego HCl – chlor na -1 stopniu utlenienia

Podchloryny ClO^- – sole kwasu podchlorawego HClO – chlor na +1 stopniu utlenienia

Chloryny ClO_2^- - sole kwasu chlorawego $HClO_2$ – chlor na +3 stopniu utlenienia

Chlorany ClO_3^- - sole kwasu chlorowego $HClO_3$ – chlor na +5 stopniu utlenienia

Nadchlorany ClO_4^- - sole kwasu nadchlorowego $HClO_4$ – chlor na +7 stopniu utlenienia

63

Idealny dezynfektant

1. Skuteczny przeciwko oocystom Cryptosporidium
2. Pozostaje aktywny w systemie dystrybucji
3. Działający w szerokim zakresie zmian jakości wody
4. Łatwy do monitorowania i kontrolowania (preferowane „on-line")
5. Minimalne formowanie ubocznych produktów dezynfekcji i przyswajalnego węgla organicznego
6. Łatwy w operowaniu i przechowywaniu bez złożonych wymagań w zakresie BHP
7. Niedrogi

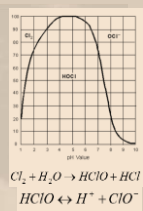
Kryptosporydioza– choroba pasożytnicza zajmująca jelita ssaków, wywoływana przez pierwotniaka *Cryptosporidium* Choroba szerzy się drogą fekalno-oralną, a głównym objawem u ludzi ze sprawnym układem odpornościowym jest samoograniczająca się biegunka. U osób z upośledzoną odpornością zakażenie może być długotrwałe i zagrażające życiu.
Kryptosporydiozę 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.

64

Chlor $(HOCl + OCl^-)$

Dozowany do wody w formie:
Gazowego chloru
Roztworu podchlorynu sodu
Stałego podchlorynu wapnia



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

Zalety:

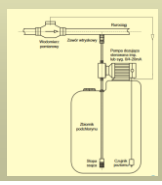
1. **Wysoka efektywność przeciwko większości patogenów**
2. **Utrzymuje działanie w sieci dystrybucji**
3. **Łatwe stosowanie, kontrolowanie i monitorowanie**
4. **Operacyjnie najbardziej niezawodny**
5. **Najbardziej efektywny kosztowo**

Ograniczenia:

1. **Tworzy halogenowane organiczne DBP**
2. **Nie efektywny przeciwko oocystom Cryptosporidium**

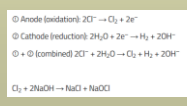
65

Dozowanie handlowego NaOCl



Generowanie NaOCl „on site"

Dezynfektant	podchloryn sodu – NaOCl
Metoda wytwarzania	elektroliza roztworu solanki
Stężenie NaOCl	6 g Cl_2/l
Wydajność	do 2,6 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)



Anode (oxidation): $2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$
Cathode (reduction): $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$
+ (combined) $2Cl^- + 2H_2O \rightarrow Cl_2 + H_2 + 2OH^-$

$Cl_2 + 2NaOH \rightarrow NaCl + NaOCl$

66

· Ozone (O_3)

Wytwarzany na miejscu przez przepuszczanie suchego tlenu lub powietrza przez elektrody pod wysokim napięciem

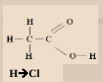
Zalety:

1. **Najsilniejszy dostępny utleniacz/dezynfektant**
2. **Nie wytwarza chlorowanych THM i HAA**
3. **W wyższych dawkach skuteczny przeciwko Cryptosporidium**
4. **W pewnym stopniu degraduje mikrozanieczyszczenia**

Ograniczenia:

1. **Tworzy nieorganiczne DBP (bromiany)**
2. **Wymaga wysokiego poziomu kompetencji technologicznych**
3. **Nie utrzymuje działania w sieci dystrybucji**
4. **Generuje AOC i powoduje wzrost DBP w sieci dystrybucji**
5. **Wyższe koszty inwestycyjne i ruchowe niż chlor**
6. **Trudny do kontrolowania i monitorowania szczególnie przy zmieniającym się obciążeniu**

Halogenowany kwas octowy (HAA) jest jednym z ważniejszych typów chlorowanych ubocznych produktów dezynfekcji.
THM - trihalometany



67

68

69

Dwutlenek chloru (ClO_2)

ClO_2 jest wytwarzany na miejscu przez mieszanie Cl_2 i chlorynów w roztworze

$$2NaClO_2 + Cl_2 \Rightarrow 2ClO_2 + 2NaCl$$
$$5NaClO_2 + 4HCl \Rightarrow 4ClO_2 + 5NaCl + 2H_2O$$

Zalety:

1. Efektywny przeciwko oocystom Cryptosporidium
2. Nie tworzy halogenowanych DBP
3. Nie utlenia bromków do bromu
4. Skuteczniejszy niż chlor w usuwaniu problemów smaku i zapachu

Ograniczenia:

1. Tworzy nieorganiczne DBP (chloryny, chlorany)
2. Wysoko lotna pozostałość
3. Wymaga urządzeń do wytwarzania na miejscu oraz operowania chemikaliami
4. Wymaga wysokiego poziomu kompetencji przy monitoringu
5. Relatywnie drogi

70

$$2NaClO_2 + Cl_2 \Rightarrow 2ClO_2 + 2NaCl$$
$$5NaClO_2 + 4HCl \Rightarrow 4ClO_2 + 5NaCl + 2H_2O$$

Diox - C	
Dezynfektant	dwutlenek chloru - ClO_2
Metoda wytwarzania	chloryn sodu $NaClO_2$ - chlor gazowy
Stężenie $NaClO_2$	24,5%
Wydajność	do 4,5 kg ClO_2/h
Zabudowa	wolnostojąca

Gaz powyżej 11°C

Diox - A 5000	
Dezynfektant	dwutlenek chloru - ClO_2
Metoda wytwarzania	chloryn sodu $NaClO_2$ - kwas solny HCl
Stężenie $NaClO_2$	24,5%
Stężenie HCl	30 - 37%
Wydajność	do 5,0 kg ClO_2/h
Zabudowa	wolnostojąca

71

Chloramina

Otrzymywana przez dodatek, w odpowiedniej proporcji, amoniaku do wody chlorowej

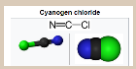
$Cl_2:NH_3 = 3\text{-}5:1$	$NH_3 + Cl_2 \rightarrow NH_2Cl + HCl$	powstawanie monochloroaminy
$Cl_2:NH_3 = 5\text{-}7:1$	$NH_2Cl + Cl_2 \rightarrow NHCl_2 + HCl$	powstawanie dichloroaminy
$Cl_2:NH_3 = >7:1$	$NHCl_2 + Cl_2 \rightarrow NCl_3 + HCl$	powstawanie trójchloroaminy

Zalety:

1. Mniejsza ilość DBP i AOC
2. Nie utlenia bromków (Br^-) do bromianów (BrO_3^-)
3. Rozkłada się wolniej niż wolny chlor
4. Charakteryzuje się obniżonym smakiem i zapachem

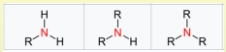
Ograniczenia:

1. Słaby dezynfektant – tylko do wtórnej dezynfekcji
2. Potencjalna możliwość tworzenie nieprzyjemnych w zapachu i smaku $NHCl_2$ i NCl_3
3. Potencjalna możliwość mikrobiologicznego powstawania azotynów i azotanów z amoniaku
4. DBP zawierają chlocyjan i rakotwórczą N-nitrozodimetyloaminę

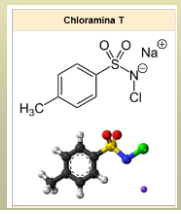


72

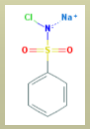
Aminy – pochodne amoniaku NH_3, w cząsteczce którego atomu wodoru zastąpiono podstawnikami węglowodorowymi.



Sól sodowa *N*-monochlorotoluenosulfamidu



Chloramina B
sól sodowa *N*-monochlorobenzenosulfamidu



73

Najczęściej wymieniane DBP

Dezynfektant	Grupa DBP
Chlor	THM i HAA
Ozon	Aldehydy i bromiany
Dwutlenek chloru	Chloryny (ClO_2^-)
Chloramina	Tradycyjne chlorowe DBP

Chlor może przyjmować różne stopnie utlenienia −1, +1, +3, +5, lub +7 przybierając, odpowiednio, formę anionów Cl^-, ClO^-, ClO_2^-, ClO_3^-, lub ClO_4^- (chlorki, podchloryny, chloryny, chlorany i nadchlorany)

Anion bromianowy BrO_3^-

74

Chlorine halogenated DBPs

Other haloalkanes
Chloromethane
Dichloromethane
Bromochloromethane
Dibromomethane
Carbon tetrachloride
Hexachloroethane
2-bromobutane

Haloalkenes
Pentachloropropene
Tetrachlorocyclopropene
Hexachlorocyclopentadiene

Halodicarboxylic acids
Chlorobutanedioic acid (2 isomers)

Other Halomonocarboxylic acids
2-Chloropropanoic acid
2,2-dichloropropanoic acid
2,2-dichlorobutanoic acid
Isomer of 2,2-dichlorobutanoic acid
5,5,5-trichloro-4-oxopentanoic acid

Unsaturated Halocarboxylic acids
3,3-dichloropropenoic acid

Haloaromatic acids
Dichlorohydroxybenzoic acid

Other Haloaromatics
Chlorobenzene
1,3-dichlorobenzene
1,4-dichlorobenzene
1,2-dichlorobenzene
Chlorotoluene
(2-chloroethenyl)-benzene

Trihalomethanes (THM)
Chloroform
Bromodichloromethane
Bromoform
Dibromochloromethane
Dichloroiodomethane
Bromochloroiodomethane

Haloacetonitriles
Bromodichloroacetonitrile
Bromochloroacetonitrile
Dibromoacetonitrile
Dichloroacetonitrile
Trichloroacetonitrile

Other Halonitriles
Cyanogen chloride
Trichloropropenenitrile
2,3-dichloro-3-bromopropanenitrile
3,4-dichlorobutanenitrile
cis-2,3,4-trichloro-2-butenenitrile
trans-2,3,4-trichloro-2-butenenitrile

Halonitromethanes
Chloropicrin

MX and analogues
3-chloro-4-(dichloromethyl)-5-hydroxy-2(5H)-furanone (MX)
(E)-2-chloro-3-(dichloromethyl)-4-oxobutenoic acid (EMX)
3-chloro-4-(dichloromethyl)-2-(5H)-furanone (red-MX, for reduced MX)
(E)-2-chloro-3-(dichloromethyl)-butenedioic acid (ox-EMX, for oxidized EMX)
2,3-dichloro-4-oxobutenoic acid (mucochloric acid)

Other halofuranones
5-hydroxy-5 trichloromethyl-2-furanone
Isomer of 5-hydroxy-5 trichloromethyl-2-furanone

Haloacetic acids (HAA)
Bromoacetic acid
Bromochloroacetic acid
Chloroacetic acid
Dichloroacetic acid
Dibromoacetic acid
Trichloroacetic acid

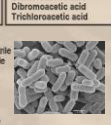
Haloketones
1,1-Dichloropropanone
1,1,1-Trichloropropanone
1,1,3-Trichloropropanone
1,1,1,3-Tetrachloropropanone
1,1,3,3-Tetrachloropropanone
1,1,1,3,3-Pentachloropropanone
1,1-Dichloro-2-butanone
3,3-Dichloro-2-butanone
1,1,1-Trichloro-2-butanone
2,2-Dichloro-2-pentanone

Haloaldehydes
Dichloroacetaldehyde
Trichloroacetaldehyde
(chloral hydrate or chloral)

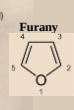
Haloesters
1-chloroethanolacetate
2-chloroethanolacetate

Haloamides
2,2-dichloroacetamide

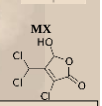
Halophenols
2-Chlorophenol
2,4-Dichlorophenol
2,4,6-Trichlorophenol



Furany



MX



Mutagen X (MX) jest związkiem tworzącym się, w wodzie pitnej, jako produkt uboczny reakcji chloru z substancjami organicznymi. Nie ma on żadnego komercyjnego zastosowania, a intencjonalnie wytwarzany jest tylko w laboratoriach gdzie jest badany.

Ta enigmatyczna nazwa wynika z faktu, że struktura tego związku była niejasna dopóki nie znaleziono sposobu na jego syntezę w laboratorium. Nazywany jest także jako MX lub przez podanie jego chemicznej nazwy: 3-chlor-4-dichlorometyl-5-hydroksy-2(5H)-furanon. Jego bromowane analogi nazywane są BMX-ami.

75

Halogenowane węglowodory alifatyczne

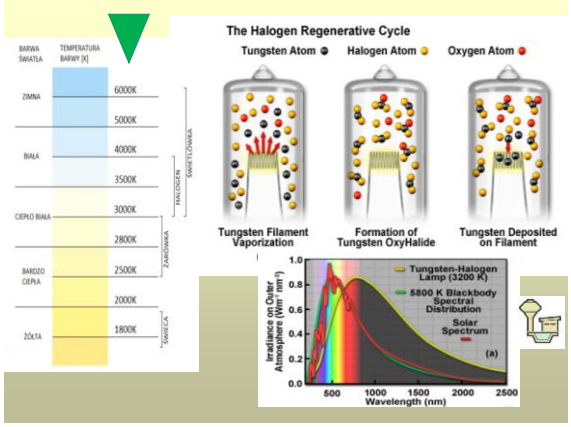
Są produktami reakcji halogenów (Cl, Br) z węglowodorami. Halogenowane węglowodory i ich pochodne są stosowane w przemyśle i ze ściekami mogą być odprowadzane do wód powierzchniowych, mogą powstawać także podczas chlorowania wody i ścieków.

Największe znaczenie mają trichalometany - THM ($CHCl_3$, $CHCl_2Br$, $CHClBr_2$, $CHBr_3$).

Poza trichalometanami w wodach mogą występować inne węglowodory halogenowane (rozpuszczalniki, półprodukty wielu reakcji chemicznych).

76

76



77

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
Undecanoic 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
Tridecanedioic acid

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-dioxane
1,4-benzodioxin

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
1,2,4-benzenetricarboxylic acid
1, 3,5-benzenetricarboxylic acid

Heterocyclic carboxylic acids
5-methyl-2-furancarboxylic acid
Methylfurandicarboxylic acid

Aromatic nitriles
Benzonitrile
Benzeneacetonitrile

Other aromatic compounds
Benzene
Toluene
C3-benzene (2 isomers)

78

Ozone DBPs

Inorganic compounds
Bromate
Hypobromite
Hydrogen peroxide

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

Dialdehydes
Glyoxal
Butanedial

Ketoaldehydes
Methyl glyoxal
Ethyl glyoxal

Nitriles
Benzeneacetonitrile

Aromatic aldehydes
Benzaldehyde
Ethyl benzaldehyde

Aliphatic ketones
Acetone
Butanone
Dioxobutane
Dioxopentane
3-methylcyclopentanone
3-hexanone
2,5-bis-(1,1-dimethylethyl)-2,5-cyclohexadiene-1,4-dione
6-methyl-5-hepten-2-one
2,6-dimethyl-2,5-heptadiene-4-one
6,10-dimethyl-5,9-undecadiene-2-one
Heptadecadienone

Dicarboxylic acids
tert-butyl-*cis*-butenedioic acid (*tert*-butylmaleic acid)
Oxobutanedioic acid
Oxopentanedioic acid

Aromatic acids
Benzoic acid
Phtalic acid

Aldoacids
Glyoxylic acid
Dioxopropanoic acid

Diketones
Dimethylglyoxal
Dioxopentane

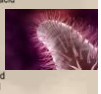
Phenols
4-methoxy-*tert*-butylphenol

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
9-hexadecenoic acid
Heneicosanoic acid
Tetracosanoic acid

Ketoacids
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 (ketosuccini acid)
oxopentanedioic acid (ketoglutaric acid)



In the presence of high bromide levels

Inorganic compounds
Bromate
Hypobromite

Trihalomethanes
Bromoform

Bromoacetics acids
Dibromoacetic acid

Bromoketones
1,1-dibromoacetone

Bromonitriles
Cyanogen bromide
Dibromoacetonitrile

Bromonitrethanes
Bromopicrin (tribromonitromethane)

79

Chloramine DBPs

Trihalomethanes
Chloroform
Bromodichloromethane
Dibromochloromethane
Bromoform

Haloaldehydes
Trichloroacetaldehyde (chloral hydrate)

Haloacetic acids
Chloroacetic acid
Dichloroacetic acid
Trichloroacetic acid
Bromoacetic acid
Dibromoacetic acid

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

Halonitriles
Cyanogen chloride
Dichloroacetonitrile
Bromochloroacetonitrile
Dibromoacetonitrile
Trichloroacetonitrile

Halonitromethanes
Chloropicrin (trichloronitromethane)

N-nitrosodimethylamine

80

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
1-methylnaphthalene
2-methylnaphthalene

81

Czynniki wpływające na powstawanie DBP

Jakość wody
- Stężenie/rodzaj NOM
- Temperatura
- Odczyn (pH)
- Bromki (Br^-)

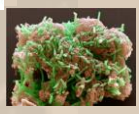
Uzdatnianie
- Rodzaj i dawka dezynfektantu
- Rodzaj i dawka koagulantu
- Czas kontaktu z dezyfektantem
- Dostosowanie odczynu (pH)

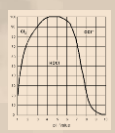
NOM – Natural Organic Matter (naturalne związki organiczne występujące w wodzie)

82

Kontrolowanie powstawania DBP

- **Usuwanie prekursorów DBP**
  - Koagulacja
  - Adsorpcja na granulowanym węglu aktywnym
  - Filtracja membranowa
  - Adsorpcja na pylistym węglu aktywnym
- **Zmiana parametrów dezynfekcji**
  - Wykorzystanie alternatywnego dezynfektanta/procesu
  - Utrzymywanie niskiego odczynu podczas dezynfekcji (?)
- **Usuwanie DBP po dezynfekcji**
  - Utlenianie
    użycie ozonu. Dwutlenku chloru lub ozonu z UV
  - Napowietrzanie
    przedmuchiwanie powietrzem na kolumnach z wypełnieniem
    wydmuchiwanie sprężonym powietrzem
  - Odwrócona osmoza
  - Adsorpcja na granulowanym węglu aktywnym





83

Procesy w stacji uzdatnia wody „Miedwie”

1. Czerpanie i pompowanie wody z jeziora Miedwie (pompownia P1)
2. Utlenianie wstępne – ozonowanie
3. Koagulacja i sedymentacja
4. Filtracja pospieszna – złoże antracytowo-piaskowe
5. Ozonowanie pośrednie
6. Adsorpcja na filtrach węglowych
7. Dezynfekcja dwutlenkiem chloru

84