



Oczyszczanie wód kopalnianych w celu osiągnięcia jakości wody do spożycia – badania pilotowe

dr inż. Robert Muszański



Wprowadzenie

Dlaczego odzyskiwać wodę z wód kopalnianych i ścieków?

- Zmniejszenie zasobów czystej wody
- Pogorszenie jakości wód powierzchniowych i podziemnych
- Zmiany klimatu i związane z nim gwałtowne, nieprzewidywalne zjawiska pogodowe
- Propagowanie rozwiązań gospodarki w obiegu zamkniętym
- Oczekiwania społeczne i troska o środowisko
- Możliwość intensyfikacji produkcji bez jednoczesnego zwiększenia poboru wody surowej



MIKROZANIECZYSZCZENIA

1. Farmaceutyki

Przykładowo:
- Leki przeciwbólowe
- Leki antydepresyjne
- Antybiotyki



4. Pestycydy

Przykładowo:
- Herbicydy
- Fungicydy
- Bakteriocydy



2. Hormony steroidowe

Przykładowo:
- Estrogeny
- Ksenoestrogeny



3. Kosmetyki

Przykładowo:
- Filtry UV
- Perfumy, środki zapachowe
- Preparaty przeciw owadom



5. Surfaktanty

Przykładowo:
- Surfaktanty niejonowe

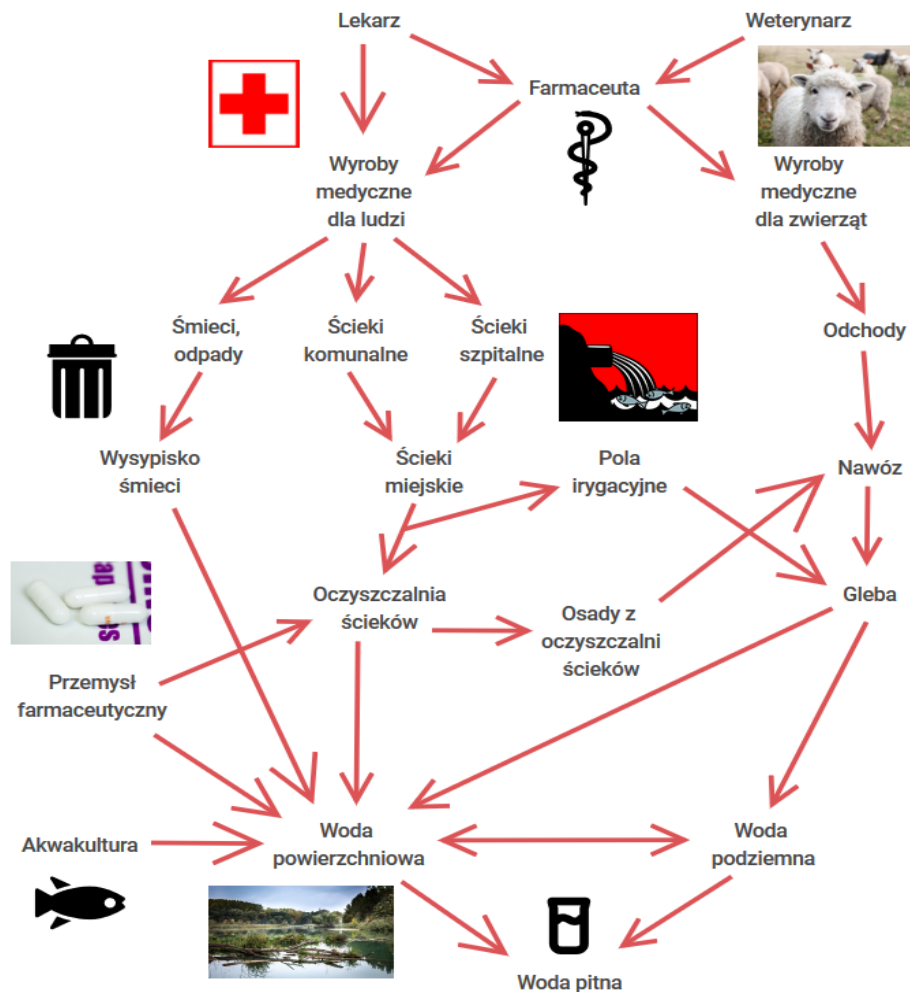


6. Chemikalia przemysłowe

Przykładowo:
- Inhibitory korozji
- Środki ognioochronne



Szacuje się, że ponad 30 000 różnych substancji znajduje się w codziennym użyciu w zastosowaniach przemysłowych, handlowych i domowych.



ROZPORZĄDZENIE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (UE) 2020/741

z dnia 25 maja 2020 r.

w sprawie minimalnych wymogów dotyczących ponownego wykorzystania wody

(Tekst mający znaczenie dla EOG)

PARLAMENT EUROPEJSKI I RADA UNII EUROPEJSKIEJ,

uwzględniając Traktat o funkcjonowaniu Unii Europejskiej, w szczególności jego art. 192 ust. 1,

uwzględniając wniosek Komisji Europejskiej,

po przekazaniu projektu aktu ustawodawczego parlamentom narodowym,

uwzględniając opinię Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego (1),

uwzględniając opinię Komitetu Regionów (2),

stanowiąc zgodnie ze zwykłą procedurą ustawodawczą (3),

a także mając na uwadze, co następuje:

- (1) Zasoby wodne w Unii znajdują się pod coraz większą presją, co prowadzi do niedoboru wody i pogorszenia jej jakości. Do zmniejszenia dostępności wody słodkiej wynikającego z rozwoju miast i rolnictwa znacząco przyczyniają się w szczególności zmiany klimatu, nieprzewidywalne zjawiska pogodowe i susze.
- (2) Zdolność Unii do reagowania na coraz większą presję na zasoby wodne może wzrosnąć dzięki upowszechnieniu ponownego wykorzystywania oczyszczonych ścieków, ograniczeniu eksploatacji jednolitych części wód powierzchniowych i podziemnych, ograniczeniu skutków uwalniania oczyszczonych ścieków do wód powierzchniowych i propagowaniu oszczędzania wody poprzez wielokrotne wykorzystywanie ścieków komunalnych, przy zapewnieniu wysokiego poziomu ochrony środowiska. W dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/60/WE (4) ponowne wykorzystanie wody, w połączeniu z propagowaniem stosowania w przemyśle technologii umożliwiających efektywne gospodarowanie wodą i wodoszczepnych technik nawadniania, wymienia się jako jeden z dodatkowych środków, które państwa członkowskie mogą stosować, by osiągnąć cele tej dyrektywy w zakresie dobrego stanu jednolitych części wód powierzchniowych i podziemnych w ujęciu ilościowym i jakościowym. Dyrektywa Rady 91/271/EWG (5) zawiera wymóg, aby oczyszczone ścieki były ponownie wykorzystywane w każdym przypadku, kiedy jest to właściwe.
- (3) Komunikat Komisji z dnia 14 listopada 2012 r. „Plan ochrony zasobów wodnych Europy” wskazuje na potrzebę stworzenia instrumentu, który regulowałby na poziomie unijnym normy ponownego wykorzystania wody w celu usunięcia przeszkód utrudniających powszechne wykorzystanie alternatywnych metod dostaw wody, czyli takich, które mogą przyczynić się do zmniejszenia niedoboru wody i złagodzenia podatności na zagrożenia systemów podży wody.
- (4) W komunikacie Komisji z dnia 18 lipca 2007 r. „Rozwiązanie problemu dotyczącego niedoboru wody i suszy w Unii Europejskiej” ustanawia się hierarchię środków, które państwa członkowskie powinny uwzględnić w zarządzaniu niedoborem wody i suszami. Stwierdza się w nim, że w regionach, gdzie wszystkie środki zapobiegawcze zostały wprowadzone zgodnie z hierarchizacją możliwych rozwiązań problemów związanych z wodą i w których nadal zapotrzebowanie na wodę jest większe niż jej podaż, dodatkowa infrastruktura wodociągowa może, w pewnych okolicznościach i z należytym uwzględnieniem aspektu kosztów i korzyści, służyć jako alternatywna metoda w celu złagodzenia skutków poważnej suszy.

(1) Dz.U. C 110 z 22.3.2019, s. 94.

(2) Dz.U. C 86 z 7.3.2019, s. 353.

(3) Stanowisko Parlamentu Europejskiego z dnia 12 lutego 2019 r. (dotychczas nieopublikowane w Dzienniku Urzędowym) oraz stanowisko Rady w pierwszym czytaniu z dnia 7 kwietnia 2020 r. (Dz.U. C 147 z 4.5.2020, s. 1). Stanowisko Parlamentu Europejskiego z dnia 13 maja 2020 r. (dotychczas nieopublikowane w Dzienniku Urzędowym).

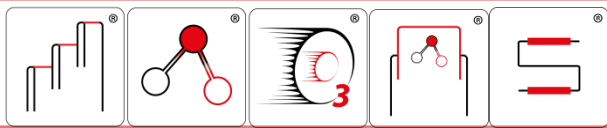
(4) Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (Dz.U. L 327 z 22.12.2000, s. 1).

(5) Dyrektywa Rady 91/271/EWG z dnia 21 maja 1991 r. dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych (Dz.U. L 135 z 30.5.1991, s. 40).

Prace legislacyjne

Główny cel regulacji:

**Bezpieczne wykorzystanie odzyskanej wody
w rolnictwie, przemyśle i usługach komunalnych.
Ochrona środowiska naturalnego w ramach
zintegrowanego gospodarowania zasobami
wodnymi.**



dr inż. Robert Muszański

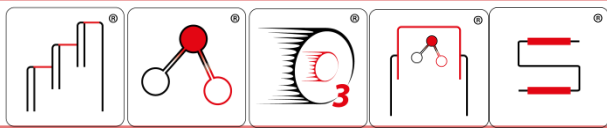
Wymogi dotyczące jakości odzyskanej wody do nawadniania w rolnictwie

Tabela przedstawia minimalne wymagania jakościowe, jakie musi spełniać odzyskiwana woda w punkcie kontroli.

Dodatkowe kryteria dotyczą procentu próbek, dla których spełnione są powyższe warunki oraz maksymalne limity odchylenia.

Klasa jakości odzyskanej wody	Orientacyjny cel zastosowania technologii	Wymogi dotyczące jakości				
		E. coli (liczba/100 ml)	BZT ₅ (mg/l)	Zawiesina ogólna (mg/l)	Mętność (NTU)	Inne
A	Oczyszczanie wtórne, filtracja i dezynfekcja	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 5	<i>Legionella</i> spp.: < 1 000 cfu/l, jeżeli istnieje ryzyko powstawania (lub wytwarzania) aerozolu Nicienie jelitowe (jaja helmintów): ≤ 1 jajo/l dla nawadniania pastwisk lub upraw roślin pastewnych
B	Oczyszczanie wtórne i dezynfekcja	≤ 100	Zgodnie z dyrektywą 91/271/EWG (załącznik I, tabela 1)	Zgodnie z dyrektywą 91/271/EWG (załącznik I, tabela 1)	-	
C	Oczyszczanie wtórne i dezynfekcja	≤ 1 000			-	
D	Oczyszczanie wtórne i dezynfekcja	≤ 10 000			-	

Celem rozporządzenia jest ułatwienie zastosowania procesów ponownego wykorzystania wody we wszystkich sytuacjach dla podmiotów, które chcą to stosować.



Zastosowanie odzyskanej wody w gospodarce

Ponowne wykorzystanie wody może przyczyniać się do odzyskiwania składników odżywczych zawartych w oczyszczonych ściekach komunalnych, a wykorzystanie odzyskanej wody do celów nawadniania w rolnictwie lub leśnictwie może być sposobem na ponowne włączenie składników odżywczych, takich jak azot, fosfor i potas, do naturalnych cykli biochemicznych.

W recyklingu i ponownym wykorzystaniu oczyszczonych ścieków kryje się ogromny potencjał. Sposobów wykorzystywania odzyskanej wody jest bardzo wiele. Można ją zastosować:

- w przemyśle,
- w usługach komunalnych i przemysłowych, w tym do:
 - mycia ulic, podlewania zieleni miejskiej, jako wody technologiczne w przemyśle np. energetycznym
- w ochronie środowiska, jak zostanie uznane za konieczne w świetle okoliczności i potrzeb krajowych, pod warunkiem, że zapewniony zostanie wysoki poziom ochrony środowiska oraz zdrowia ludzi i zwierząt.



Ogólny Węgiel Organiczny – OWO

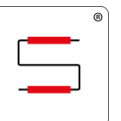
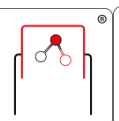
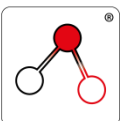
Wartość OWO w próbce określa zawartość węgla wchodzącego w skład związków organicznych. Parametr ten jest często używany jako wskaźnik czystości ścieku, co ma znaczenie w przypadku konieczności zrzutu ścieków do oczyszczalni i z oczyszczalni.

Analizy ogólnego węgla organicznego w próbkach przemysłowych informują nas również o składzie produktu i możliwości oczyszczenia wody lub ścieków.

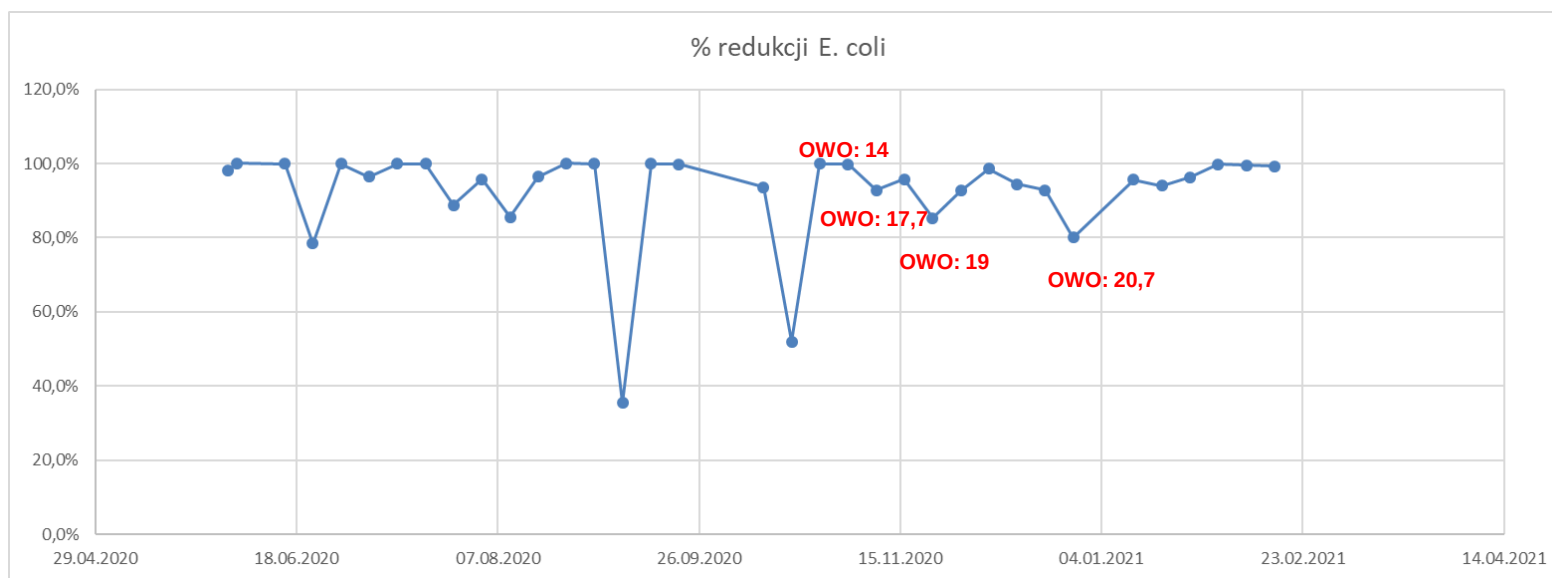
Parametry sumaryczne stosowane do oceny stopnia zanieczyszczenia środowiska		
Total Organic Carbon (Węgiel Ogólny Organiczny)	TOC (OWO)	Suma węgla zawartego w związkach organicznych
Dissolved Organic Carbon (Rozpuszczony Węgiel Organiczny)	DOC (RWO)	Suma węgla zawartego w związkach organicznych występujących w wodzie przesączonej przez sącze membranowy o wymiarach 0,45 µm

Monitorowanie zawartości materii organicznej w ściekach komunalnych i przemysłowych jest niezwykle istotne. Dopuszczalne limity regulowane są przepisami i muszą być spełnione. Pomiar OWO jest szybki i lepiej nadaje się do analizy w porównaniu do konwencjonalnych metod badających takie parametry, jak ChZT lub BZT.

Najbardziej popularnymi metodami pomiarów OWO jest metoda NPOC oraz rzadziej stosowana TC-IC.



% redukcji bakterii E. coli po stacji badawczej w stosunku do OWO





OBIEGI ZAMKNIĘTE W PRZEMYSŁE

- odpowiedzialna polityka ekologiczna
- ograniczenie emisji substancji chemicznych



ŚCIEKI

- bez mikrozanieczyszczeń
- pozbawione bakterii
- bezpieczne dla środowiska



WODA

- czysta i bezpieczna bez chloru
- wolna od farmaceutyków
- dla miast i obszarów wiejskich



PRZEMYSŁ SPOŻYWCZY

- eko produkcja
- żywność bez chemii



SZPITALA, SZKOŁY, BUDYNKI UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ

- ochrona zdrowia
- bezpieczna woda prosto z kranu
- zapobieganie zakażeniom wewnątrzszpitalnym



BASENY

- komfort użytkowania
- bez podrażnień i uczuleń
- bezpieczne dla dzieci i seniorów



SPID

MOBILNE I KONTENEROWE SYSTEMY SPID 80



REMEDIACJA GRUNTÓW

- redukcja skażeń in-situ
- z myślą o przyszłości



DEZYNFEKCJA PO SKAŻENIACH I POWODZIACH

- mobilny system do natychmiastowej reakcji
- skuteczna metoda usuwania zagrożeń



POLSKIE TECHNOLOGIE W PROCESACH ODZYSKIWANIA WODY



Filtracja – namywanie

ŻWIROWO-PIASKOWA, WĘGIEL AKTYWNY



AERATORY

PRODUKCJA ZJONIZOWANEGO
POWIERZA



OZONOWANIE

WIELOSTOPNIOWE KOLUMNY
KONTAKTOWE



TECHNIKI

MEMBRANOWE

TECHNOLOGIE PRZYJAZNE ŚRODOWISKU



dr inż. Robert Muszański

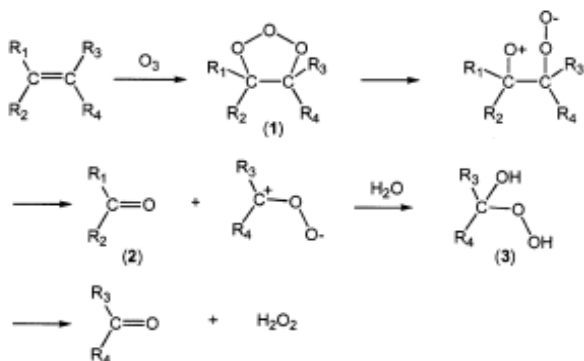
STACJE PILOTOWE I BADAWCZE



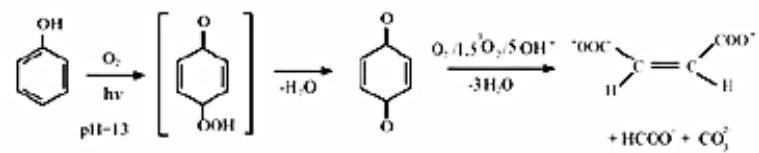
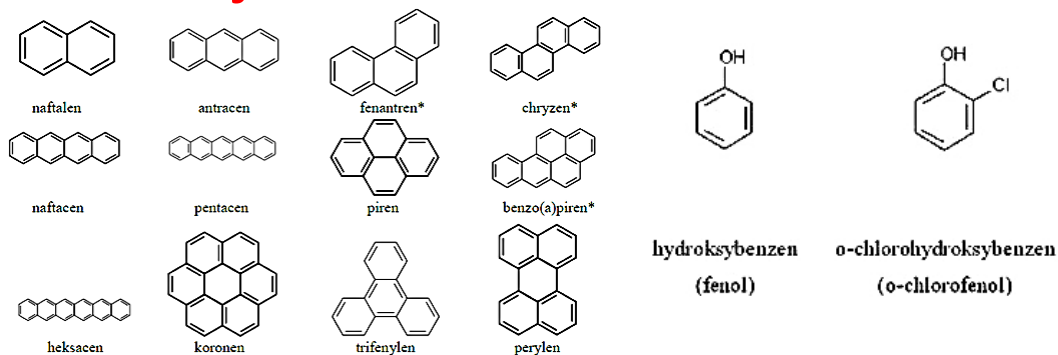
dr inż. Robert Muszański

Usuwanie TRI i TETRA z wody do picia: wdrożenie

Dzień	Studnia 6			Dzień	po ozonie / przed węglem			po ozonie / po węglu		
	TRI	TETRA	SUMA		TRI	TETRA	SUMA	TRI	TETRA	SUMA
15-06-2009	120,8	138,7	259,5	15-06-2009	13,7	21,4	35,2	<1,0	1,1	1,7
16-06-2009	125,4	148,3	273,6	16-06-2009	11,9	23,5	35,4	<1,0	1,1	1,7
17-06-2009	132,2	154,9	287,1	17-06-2009	10,5	22	32,5	<1,0	<1,0	1,5
18-06-2009	130,3	155	285,3	18-06-2009	15,3	27,9	43,1	1	1,4	2,4
19-06-2009	132,9	154,5	287,5	19-06-2009	16,4	23,8	40,1	1,2	1,4	2,5
22-06-2009	108,1	122,2	230,2	22-06-2009	8	13,5	21,6	<1,0	<1,0	1,5

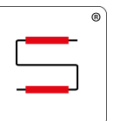
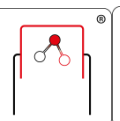
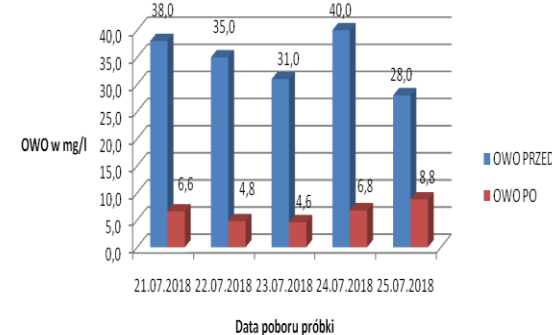
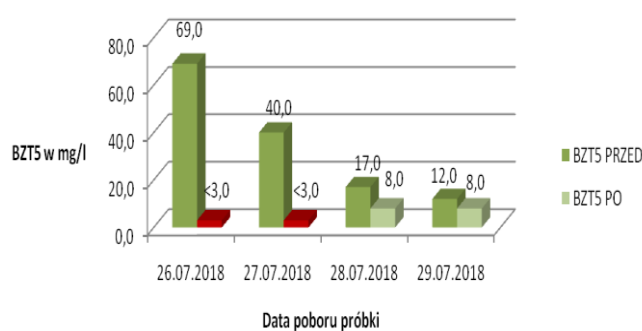
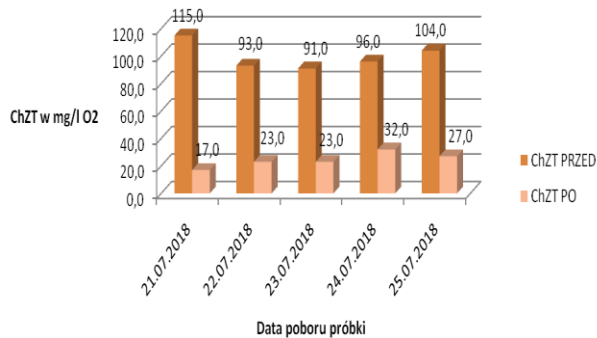
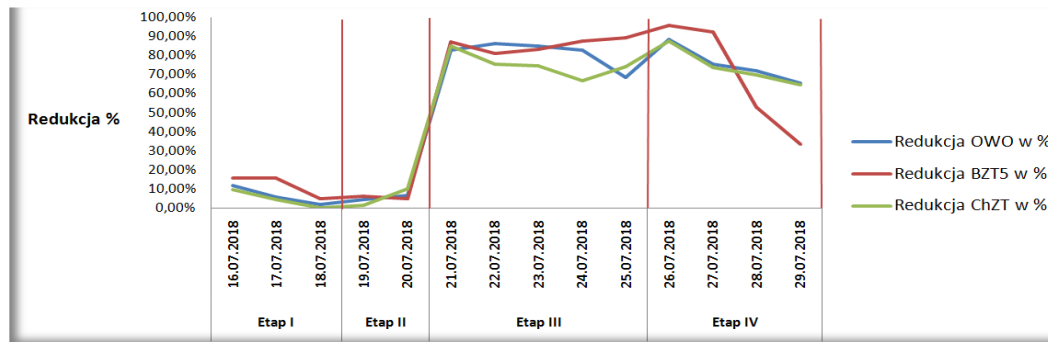


Remediacja: badania – wdrożenie



Rys. 2. Reakcja fotoutleniania fenolu w obecności ditleniu

Odzysk wody ze ścieków przemysłowych: HUTA – badania



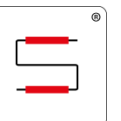
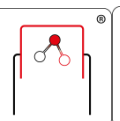
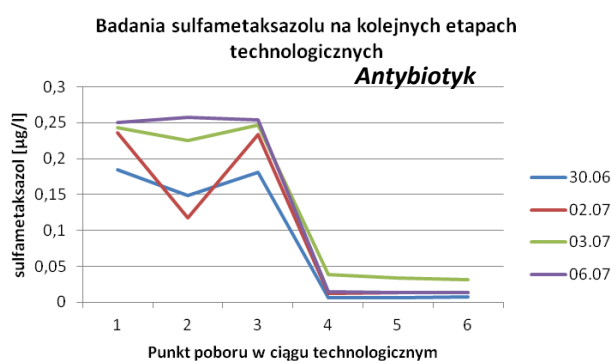
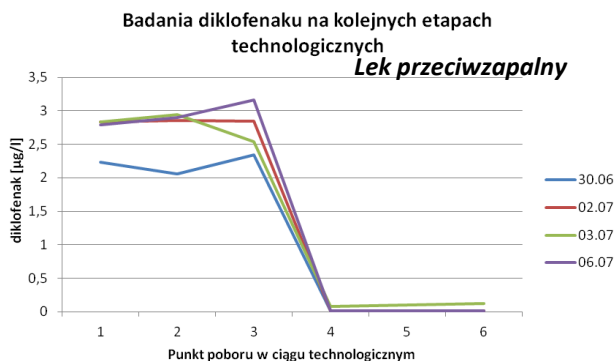
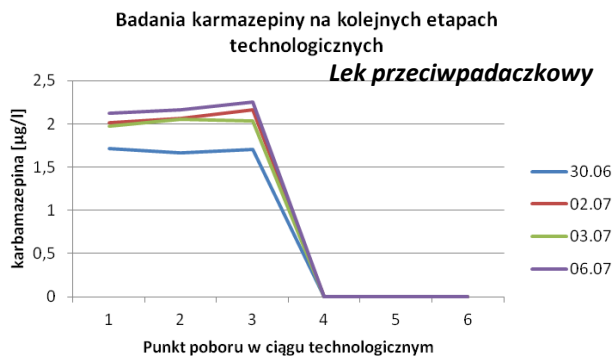
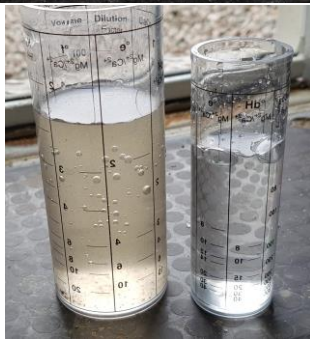
Odzysk wody ze ścieków

Lokalizacja – województwo śląskie

Technologie – OWWO, recykl ozonu, filtracja, UV.

Odzysk do 840 m³ tygodniowo.

Głównym celem oczyszczania jest redukcja mikrozanieczyszczeń.



dr inż. Robert Muszański

Lokalizacja – województwo mazowieckie

Technologie – OWWO, filtracja, UV.

Odzysk wody do celów badawczych może wynieść do 840 m³ tygodniowo.

Głównym celem oczyszczania jest redukcja mikrozanieczyszczeń i mikrobiologii.



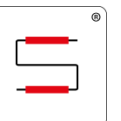
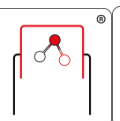
Odzysk wody ze ścieków

Nazwa parametru	Jednostka	Ścieki oczyszczone - Kanał odpływowy ob.41.01 ZCZ Ściek oczyszczony „surowy”	Ścieki oczyszczone – Kanał odpływowy ob.41.01 ZCZ po filtracji żwir-płask oraz węglowej z prędkością 7,5 m ³ /h i po ozonowaniu dawką 300 g/h (ok. 40 g/m ³) po SPiD	Redukcja
Imidaklopryd	µg/l	0,102	0,005	95,10
Naproksen	µg/l	0,90	0,01	98,89
Klarytromycyna	µg/l	0,43	0,005	98,84
Sulfametoksazol	µg/l	0,326	0,005	98,47
Cyprofloksacyna	µg/l	0,084	0,005	94,05
Diklofenak	µg/l	2,49	0,01	99,60
Ketoprofen	µg/l	0,12	0,01	91,67
Karbamazepina	µg/l	1,42	0,005	99,65
Erytromycyna	µg/l	0,018	0,005	72,22
Propranolol	µg/l	0,034	0,005	85,29
Azytromycyna	µg/l	0,107	0,005	95,33
Metoprolol	µg/l	0,254	0,005	98,03
Ibuprofen	µg/l	0,37	0,01	97,30
Furosemid	µg/l	1,08	0,005	99,54

Parametr/Obiekt	Jednostka	Kanał odpływ - ścieki oczyszczone (tło)	Ścieki po filtracji i procesie ozonowania w systemie SPiD 80
Azot amonowy	[mg/l]	2,21	1,52
Azot azotanowy	[mg/l]	1	1,3
Azot azotynowy	[mg/l]	0,21	<0,020
Azot ogólny (całkowity)	[mg/l]	5,2	3,6
Biochemiczne Zapotrzebowanie Tlenu (BZT5)	[mgO ₂ /l]	10	3,2
Chemiczne Zapotrzebowanie Tlenu (ChZT)	[mgO ₂ /l]	65	17,5
Temperatura	[st.C]	19	20,6
Ogólny węgiel organiczny (OWO)	[mg/l]	11	8,9
pH	[-]	7,2	7,6
Zasadowość ogólna	[mval/l]	4,05	3,94
Zawiesiny	[mg/l]	15	<2,0
Liczba bakterii z grupy coli	[NPL/100ml]	770 000	0
Liczba Escherichia coli	[NPL/100ml]	160 000	0
Liczba Enterokoków kałowych	[NPL/100ml]	20 000	0
Bromiany	[mg/l]	< 0.004	< 0.004



Odzysk wody z wód kopalnianych: badania – efekt wizualny



dr inż. Robert Muszański

Odzysk wody z wód kopalnianych: badania – charakterystyka wód

	pH -	Przewodność elektryczna $\mu\text{S/cm}$	Mętność NTU	Barwa mg/l Pt	Żelazo ogólne $\mu\text{g/l Fe}$	Jon amonowy mg/l NH_4	Twardość ogólna mg/l CaCO_3	Chlorki mg/l Cl	Siarczany mg/l SO_4	Mangan $\mu\text{g/l Mn}$	Bakterie grupy coli NPL/100 ml	Escherichia coli NPL/100 ml
LOKALIZACJA 1												
Woda surowa	7	1623	75,4	10	7936	0,518	749	110	305	1090	310	41
Woda uzdatniona + RO	7,8	-	0,45	5	26	0,054	709	-	201	27	0	0
LOKALIZACJA 2												
Woda surowa	7	1416	>20,0	7	5720	0,29	598	150,1	306	1252	35	1
Woda uzdatniona	7,8	1070	<0,2	<5	<10	<0,128	444	120	250	6,9	0	0
LOKALIZACJA 3												
Woda surowa	7,9	12200	3,77	5	153	0,111	1854	3826	1353	30	>2400	50
Woda uzdatniona + RO	7,8	-	0,55	5	42	0,068	1473	-	198	8	0	0

Odzysk wody z wód kopalnianych do jakości wody do spożycia i celów gospodarczych



dr inż. Robert Muszański

Odzysk wody z wód kopalnianych: badania – charakterystyka procesów

Ogólny Węgiel Organiczny – OWO

Przewodność wody

Ozon resztkowy

Trzy charakterystyczne parametry umożliwiające kontrole procesów oczyszczania



Odzysk wody z wód kopalnianych: ozonowanie – założenia

Ozon należy do związków **silnie utleniających**.

Wprowadzany do wody zawierającej substancje **nieorganiczne i organiczne**, reaguje z nimi w **procesach utleniania**.

Jeśli w wodzie obecne są substancje **organiczne** w postaci **bakterii chorobotwórczych**, to w wyniku działania ozonu na błony komórkowe następuje ich zniszczenie. Jest to również proces utleniania, ale w odróżnieniu od poprzedniego nazywany jest **procesem dezynfekcji**.

Ozonowanie jest zawsze związane z procesami **utleniania i dezynfekcji**.

Dlatego UE wymaga zezwolenia na stosowanie środka biobójczego, jakim jest ozon i urządzenia do jego wytwarzania.

prof. dr hab. inż. Roman Zarzycki; prof. dr hab. inż. Andrzej Biń

Efektywność dezynfekcji wody (usuwanie zanieczyszczeń mikrobiologicznych, takich jak bakterie, wirusy, grzyby, ameby oraz cysty) określa się za pomocą *iloczynu Ct*:

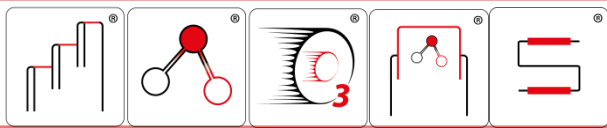
$C \times t = \text{stężenie środka dezynfekującego (w mg/l)} \times \text{czas (w minutach)}$ 99% dezaktywacji mikroorganizmów w temperaturze 20–25°C.

Jednak ten współczynnik nie jest uniwersalnym stąd wprowadzono nowy współczynnik, jakim jest **ozon resztkowy**.

Koncepcja tego wskaźnika wywodzi się z prawa Chicka i Watsona.

Ozon resztkowy opisywany jest w literaturze naukowej w różny sposób. Po rozpuszczeniu gazu ozonowego w wodzie zachodzą reakcje utleniania ze wszystkimi zanieczyszczeniami i związkami. Po procesie w wodzie pozostaje pewna wartość stężenia cząstek ozonu, które mają funkcjonalność utleniającą, natomiast nie ma już związków w roztworze, które mogą utlenić. To stężenie i funkcjonalność nazywane są **ozonem resztkowym**.

Wg prawa Henry'ego



Odzysk wody z wód kopalnianych: badania – charakterystyka procesów



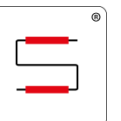
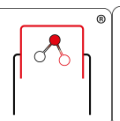
Woda po ozonowaniu po kolumnach kontaktowych o intensywniejszym zabarwieniu żółtozielonym w wyniku większego stężenia ozonu resztkowego w wodzie – **O3K 0,47** mg/l



Woda po ozonowaniu po kolumnach kontaktowych o intensywnym zabarwieniu żółtoróżowym, co oznacza próg granicznej wartości stężenia ozonu resztkowego w wodzie – **O3K 0,97** mg/l



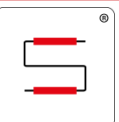
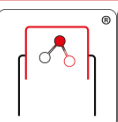
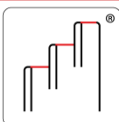
Woda po ozonowaniu po kolumnach kontaktowych o intensywnym zabarwieniu różowym oznacza przekroczenie progu granicznej wartości stężenia ozonu resztkowego w wodzie. Mangan na Mn⁷⁺, tworzą się nadmanganiany w wodzie, woda nie może być produkowana. Czas ponownego powrotu na Mn⁴⁺: około 24 godziny. Wartość zmierzona **O3K 1,71** mg/l.



Odzysk wody z wód kopalnianych: badania – efekt wizualny



Ogólny **W**ęgiel **O**rganiczny
Woda surowa – 6 mg/l
Woda oczyszczona – 1,5 mg/l





Dziękuję za uwagę

dr inż. Robert Muszański

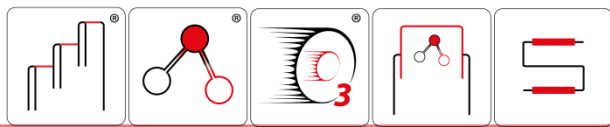


➤ założenia technologii

Opanowanie sposobu kontroli ozonowania wstępnego i pośredniego dla takich parametrów jak:

- ilości ozonu resztkowego przy zmiennej matrycy wody
- stały czasu reakcji dla procesów utleniania i dezynfekcji przy zmiennych przepływach wody
- proces odgazowania wody z ozonu nadmiarowego
- regulowanie czasem przetrzymania w reakcjach utleniania i dezynfekcji oraz

utlenianie wody w procesach ozonowania wstępnego aktywną mieszaniną powietrza i ozonu z recyklu pozwala usunąć bezpiecznie z wody związki, które w procesach ozonowania pośredniego przyczyniłyby się do tworzenia ubocznych produktów dezynfekcji.



➤ ozonowanie wstępne

Jeżeli przeanalizujemy właściwości utleniające ozonu i możliwości aglomeracji związków organicznych i nieorganicznych w procesach koagulacji i filtracji to możemy rozpatrywać zastosowanie technologii ozonowania wstępnego jako szerokie spektrum możliwości w nowoczesnej stacji uzdatniania wody.

Okaże się wtedy że:

- powietrze zjonizowane powstałe z ozonu z re cyklu prowadzi szybko i skutecznie reakcje wstępnego napowietrzania i utleniania,
- procesy koagulacji zachodzą szybciej i wymagają mniejszych dawek reagentów,
- filtry wpracowują się dużo szybciej, a aglomeracja cząsteczek zwiększa prędkości filtracyjne.
- **utlenianie związków aktywną mieszaniną powietrza i ozonu pozwala usunąć bezpiecznie z wody te związki które w późniejszych procesach przyczyniły by się do tworzenia ubocznych produktów dezynfekcji**



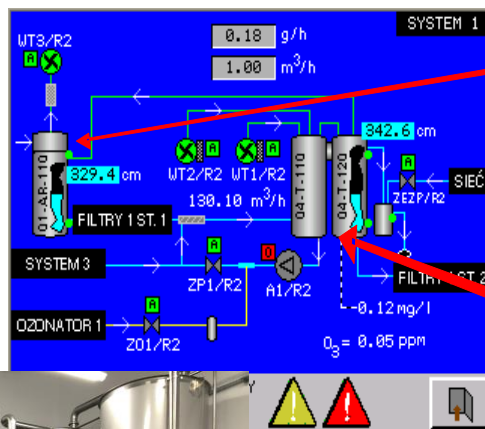
➤ ozonowanie pośrednie

- Proces ozonowania przebiega w kolumnie utleniającej pionowej, a nie jak dotychczas w zbiorniku poziomym.
- Woda dostarczana jest po mieszaczu statycznym od dołu kolumny, wprowadzając masy wody w ruch wirowy.
- Po procesie ozonowania w kolumnie utleniającej woda przepływa do drugiej kolumny odgazowania-przetrzymania.
- Procesy odgazowania i przetrzymania są regulowane w zależności od potrzeb technologicznych wysokością zwierciadła wody w kolumnie.
- W kolumnie odgazowania i przetrzymania zachodzą procesy odgazowania wody z jednoczesnym zatrzymaniem procesów ozonowania i pozbycia się ozonu nadmiarowego nie związanego z wodą
- Proces przetrzymania zaozonowanej wody jest płynnie regulowany w zależności od potrzeby stopnia utlenienia lub dezynfekcji wody w stosunku do matrycy wody.



➤ ozonowanie wstępne i pośrednie w praktyce

Zrzut z panelu sterowania – praca aeratorów i kolumn kontaktowych



Aeratory na
zjonizowane powietrze

Wielostopniowe
kolumny
kontaktowe

Przykład
zlokalizowania
aeratorów
i
wielostopniowych
kolumn
kontaktowych

