

**Ochrona
środowiska
w technologii
chemicznej
(OŚTCh)**



Metody ochrony wód



Metody ochrony wód

Wody powierzchniowe i podziemne zawierają:

- substancje rozpuszczone (sole, kwasy, zasady, substancje organiczne, rozpuszczone gazy);
- koloidy złożone z cząstek o wielkości mniejszej niż $0,1 \mu\text{m}$ (np. glinokrzemiany, krzemionka, wodorotlenki niektórych metali, produkty przetwarzania ropy naftowej, białka, skrobia, substancje humusowe);
- zawiesiny substancji stałych i emulsje, złożone z cząstek o wielkości większej od $0,1 \mu\text{m}$ (piasek, muł, oleje mineralne, szczątki roślinne i zwierzęce);
- zanieczyszczenia grube różnego pochodzenia, unoszone przez wodę;
- organizmy (glony, grzyby, pierwotniaki, bakterie, wirusy).



Metody usuwania zanieczyszczeń z wody

- metody mechaniczne – procesy wstępnego oczyszczania z makro zanieczyszczeń stałych (kraty i sита, piaskowniki, separatory tłuszczu i odstojniki) oraz zanieczyszczeń mikro (sита obrotowe)
- metody fizykochemiczne – klarowanie wody w wyniku koagulacji, sedymentacji i filtracji
- metody chemiczne – odżelazianie i odmanganianie, odgazowanie, poprawianie, zmiękczenie, itp.

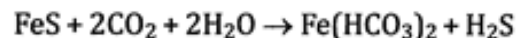
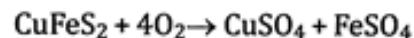
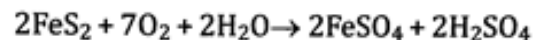


Metody chemiczne uzdatniania wody – odżelazianie wody

Występowanie związków żelaza w wodzie jest wynikiem wymywania ich z gruntu (gliny, pirytu FeS_2 , chalkopirytu CuFeS_2), pirotynu FeS lub z zardzewiałych zbiorników i rurociągów. Wody zażelazone stanowią dobre środowisko rozwijania się glonów i bakterii żelazistych (*Gallionella*, *Crenothrix*, *Sphaerotilus*, *Leptothrix* i *Siderocapsa*), które sprzyjają powstawaniu rdzy na osnowie organicznej o strukturze nitkowej, tworzącej gąbczaste korki zapychające światło rurociągów. Rozwojowi tych bakterii sprzyja niedobór tlenu i obecność CO_2 w wodzie.

Formy występowania żelaza w wodzie

Żelazo w wodach podziemnych występuje najczęściej w postaci trudno usuwalnych jonów dwuwartościowych Fe^{2+} , jako dwuwęglan żelaza(II) $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, siarczan żelaza(II) FeSO_4 lub chlorku żelaza(II) FeCl_2 . Jest to efekt wietrzenia (utleniania) zawartych w skałach siarczków lub ich rozkładu kwasem węglowym(IV), kwasami organicznymi oraz bakteriami żelazistymi. Przebieg niektórych z tych reakcji jest następujący:



Żelazo w wodach podziemnych najczęściej występuje w postaci wodorowęglanu(IV) żelaza(II), natomiast w powierzchniowych lub bagiennych również w postaci humusanów lub fosforanów. Żelazo w wodach naturalnych może występować w postaci związków dwu- i trójwartościowych.

Dobór technologii odżelaziania zależy od stężenia związków Fe, odczynu oraz zawartości O_2 i CO_2 w wodzie.



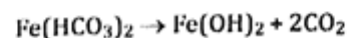
Metody chemiczne uzdatniania wody – odżelazianie wody

Odżelazianie wód obojętnych i lekko zasadowych

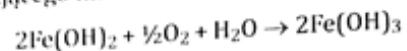
Technologia odżelaziania wód obojętnych i lekko zasadowych jest podobna, jednak ze względu na stężenie jonów Fe, konieczne są w niej pewne modyfikacje.

Fe < 0,2 mg /dm³

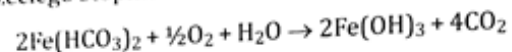
Dla niewielkich stężeń jonów żelaza i możliwości dysponowania wystarczająco długim czasem proces odżelaziania wody może przebiegać samoczynnie pod wpływem hydrolizy i tlenu atmosferycznego rozpuszczonego w wodzie



Wodorotlenek żelaza(II) utlenia się następnie do wytrącającego się i opadającego na dno lub pozostającego na filtrach wodorotlenku żelaza(III)



Sumaryczna reakcja hydrolizy wodorowęglanu(IV) żelaza(II) i utlenienia żelaza z drugiego do trzeciego stopnia utlenienia wyraża się równaniem



Fe < 8 mg/dm³

Przy większym stężeniu jonów Fe proces odżelaziania, opisany powyżej, nie zajdzie już samoczynnie. Przyczyną jest niedobór tlenu i dlatego w tym przypadku stosuje się aerację (napowietrzanie wody), a następnie filtrację na złożach piaskowych. Reakcje (15.4)÷(15.6) nadal pozostają aktualne. Zawartość jonów żelaza w przesączu 0,2÷0,3 mg Fe/dm³, jest dopuszczalna w energetyce, ale tylko do uzupełniania nim obiegów chłodniczych.

Fe > 8 mg/dm³

Ilość koniecznych do usunięcia jonów żelaza jest w tym przypadku na tyle duża, że usunięcie ich na filtrach może być niewystarczające, dlatego proces odżelaziania, takich wód, musi być wzbogacony o operację wstępnej sedymentacji wytrąconego Fe(OH)₃, którego resztę usuwa się na filtrach. Operacja aeracji oraz zachodzące reakcje pozostają bez zmian.

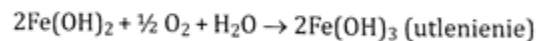
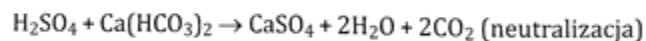
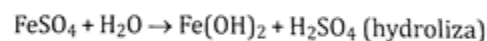


Metody chemiczne uzdatniania wody – odżelazianie wody

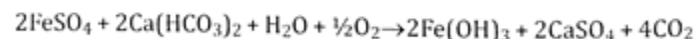
Odżelazianie wód kwaśnych

Przy odczynie $\text{pH} = 6\div 7$ (lekko kwaśnym) wytrącenie wodorotlenku żelaza(III) poprzez utlenienie jonów $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ nie zachodzi. W tym przypadku należy albo zmienić pH lub zastosować katalizator osadzony na aktywnych złożach filtracyjnych.

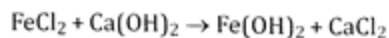
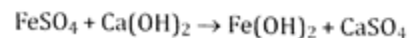
Jeżeli odczyn wody jest bardziej kwaśny ($\text{pH} < 6$), to wówczas żelazo występuje w niej w postaci związków FeSO_4 i FeCl_2 , których wydzielenie wymaga usuwania CO_2 , który uwalnia się podczas reakcji neutralizacji wody wapnem. W tym celu również stosuje się napowietrzanie, które dodatkowo sprzyja reakcjom utleniania



lub sumarycznie



Podczas wapnowania zachodzą również następujące reakcje



Powstały wodorotlenek Fe(II) jest dalej utleniany, rozpuszczonym w wodzie tlenem, do wodorotlenku Fe(III). Wodorotlenek ten jest usuwany z wody sedymentacyjnie i na filtrach.



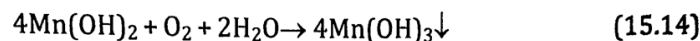
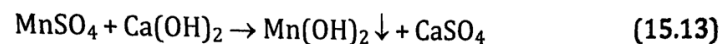
Metody chemiczne uzdatniania wody – odmanganianie wody

Mangan bardzo często towarzyszy żelazu w wodzie i występuje w postaci rozpuszczalnego dwuwęglanu $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$ lub rzadziej siarczanu MnSO_4 . Węglan jest strącany podobnie jak żelazo, siarczan wymaga zastosowania odpowiednio uformowanego złoża manganowego w postaci otoczki żwiru lub innego ceramicznego wypełnienia dwutlenkiem manganu MnO_2 . Usuwanie manganu przez utlenienie jonów Mn^{2+} do Mn^{3+} lub Mn^{4+} jest znacznie trudniejsze niż w przypadku analogicznego usuwania żelaza, przez utlenienie Fe^{2+} do Fe^{3+} .

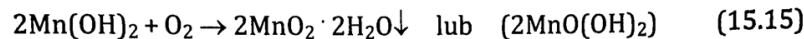


Metody chemiczne uzdatniania wody – odmanganianie wody

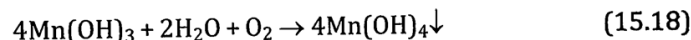
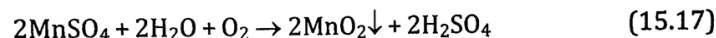
Wytrącanie rozpuszczalnych związków dwuwartościowego manganu (Mn^{2+}) mogą ich hydrolizy i utlenienia do nierozpuszczalnych w wodzie związków manganu trójwartościowego (Mn^{3+}). Reakcja ta jednak zachodzi przy $pH > 10$, gdy w celu uzyskania tej zasadowości zastosuje się wapnowanie wody, to wówczas reakcje hydrolizy i utlenienia przebiegają następująco:



Wodorotlenek Mn (II) jest białym słabo rozpuszczalnym, a Mn (III) brązowym nierozpuszczalnym w wodzie osadem, który podobnie jak siarczan wapnia wytrąca się z wody. Przy czym $Mn(OH)_2$ może się dalej utleniać do



Związki manganu (II) i (III) mogą również utlenić się do Mn (IV)



Brunatny osad $Mn(OH)_4$ jest również nierozpuszczalny w wodzie i można go odfiltrować. Wszystkie powyższe reakcje odmanganianie wody nie wymagają katalizatora, pod warunkiem, że jej $pH \geq 10,3$.

Wody o tak wysokiej zasadowości nie można stosować, ani w przemyśle, ani do konsumpcji. Zasadowość wody technicznej i spożywczej nie powinna przekraczać $pH = 8,5$. Przy tej wartości pH odmanganianie jest też możliwe, ale tylko katalityczne.

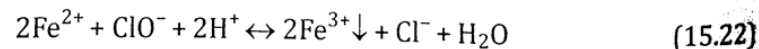
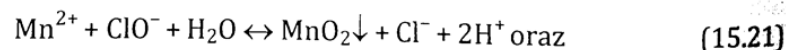
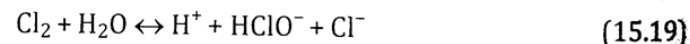
Jako katalizator stosuje się piroluzyt, którym jest cienka warstwa uwodnionego tlenku manganu Mn (II) osadzonego na ziarnach piasku złoża aeratora odmanganiającego. Tlenek ten powstaje samorzutnie w wyniku długotrwałego oddziaływania tlenu z powietrza na jony manganu w wodzie (15.17). Proces ten można przyspieszyć przemysławając złożę rozcieńczonym $KMnO_4$ (nadmanganianu potasu).

Wydzielające się podczas odmanganiania tlenki i wodorotlenki Mn (IV) osadzają się na ziarnach wypełnienia, wykazując do nich, w przeciwieństwie do tlenków i wodorotlenków Fe (III), silną przyczepność. Powoduje to kłopoty z regeneracją złoża, które taniej jest wymieniać, niż przepłukiwać roztworami kwasów.

Metody chemiczne uzdatniania wody – odmanganianie wody

Inne metody i uwarunkowania odmanganiania wody

Oprócz typowej metody odmanganiania wody, poprzez jej napowietrzanie w środowisku zasadowym, można jako utleniacze zastosować ozon lub chlor. Utleniacze te działają już przy $\text{pH} = 7,1 \div 7,4$ i nie tylko na jony Mn^{2+} , ale również na Fe^{2+} .



Czasami w uzdatnianej wodzie może pojawić się amoniak. Jest to wynik wypłukiwania do wód gruntowych nawozów azotowych i amonowych. Jony NH_4^+ stanowią wówczas konkurencję dla jonów Mn^{2+} i Fe^{2+} przez blokowanie centrów aktywności katalitycznej MnO_2 . Górną granicą stężenia jonów żelaza, po pierwszym stopniu jego usunięcia, jest $0,2 \text{ mg/dm}^3$. Poniżej tej wartości jego oddziaływanie na utlenienie Mn^{2+} w obecności NH_4^+ , w drugim stopniu, jest niezauważalne.

Do odmanganiania wody można również stosować aeratory ze złożem biologicznym, w którym na ziarnach piasku lub innego wypełnienia są wyhodowane manganolubne mikroorganizmy lub bakterie, np.: *Planctomyces*, *Pedomicrobium*, *Metallogenium*.



Metody chemiczne uzdatniania wody – odgazowanie wody

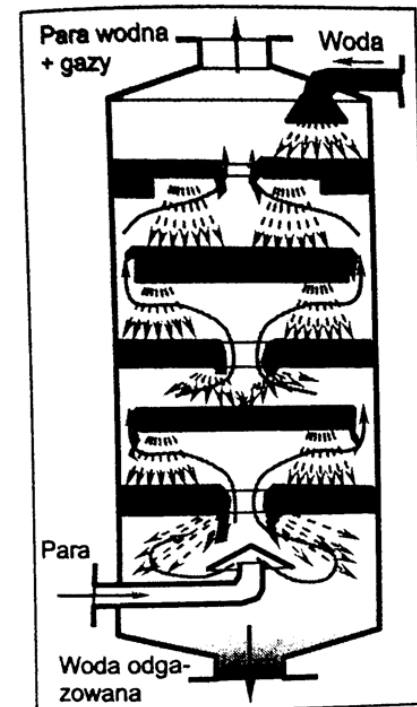
Znane są następujące sposoby odgazowania wody: termiczny, próżniowy, mechaniczny, membranowy, chemiczny i katalityczny.

Odgazowanie termiczne

Odgazowanie to polega na doprowadzeniu wody do wrzenia. W tym stanie rozpuszczalność gazów spada do zera.

Proces ten prowadzi się w odgazowaczach, będących wymiennikami mieszankowym. Aby obniżyć koszty procesu odgazowania termicznego można wykorzystać ciepło odpadowe spalin

Korzystne jest do podgrzania wody stosować przegrzaną parę wodną. Dzięki temu woda nie ma ponownego kontaktu z powietrzem i nie ulega aeracji. Dla poprawnego działania woda musi osiągnąć temperaturę nasycenia, w której rozpuszczone gazy zostają z niej usunięte.



Odgazowacz termiczny, parowy kaskadowy

Metody chemiczne uzdatniania wody – odgazowanie wody

Próżniowe

Obniżenie ciśnienia powoduje, zgodnie z prawem Henry'ego-Daltona również zmniejszenie ciśnień cząstkowych gazów, a więc i ich stężenia w wodzie. Odgazowywacze próżniowe mogą być stosowane do uzdatniania wody uzupełniającej i wody obiegowej w instalacjach grzewczych. W wyniku ich działania zawartość tlenu w wodzie zostaje obniżona do $c < 0,1 \text{ mg/dm}^3$. Odgazowywaniu próżniowemu poddaje się również skropliny w skraplaczach turbin kondensacyjnych, wodę sieciową w podgrzewaczach oraz wodę uzupełniającą w dodatkowych odgazowywaczach specjalnych.

Do wytwarzania podciśnienia w odgazowywaczach próżniowych można wykorzystać smoczki wodne, parowe oraz próżniowe pompy wodne lub olejowe.



Metody chemiczne uzdatniania wody – odgazowanie wody

Odgazowanie membranowe

Odgazowanie membranowe jest wspomaganie odgazowania próżniowego. Różni się jednak tym, że oprócz obniżonego ciśnienia do rozwinięcia powierzchni wymiany masy wykorzystano w nim pakiet wypełnień z silikonowych rurek kapilarnych o różnym współczynniku przepuszczalności. Dzięki temu metoda ta może nie tylko służyć do odgazowania wody, ale również selektywnego rozdziału gazu.



Metody chemiczne uzdatniania wody – odgazowanie wody

Odgazowanie mechaniczne

Jest kilka metod odgazowania mechanicznego wody, takich jak rozpylanie, mieszanie oraz przedmuchiwanie powietrzem, ale tylko przy usuwaniu gazów nie będących podstawowym składnikiem powietrza (CO_2 , NH_3 , H_2S , Cl).

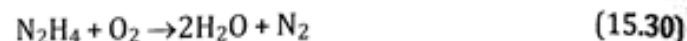
Odgazowanie mechaniczne jest wspomaganie odgazowania termicznego. Przez rozwinięcie powierzchni wymiany masy, które uzyskuje się w wyniku mechanicznego zdyspergowania wrzącej wody, droga gazu z wnętrza pojedynczej kropelki do jej powierzchni jest krótsza, w wyniku czego odgazowanie jest szybsze i skuteczniejsze. Para wodna izoluje wnętrze aparatu od powietrza i wydmuchuje odgazowane gazy.



Metody chemiczne uzdatniania wody – odgazowanie wody

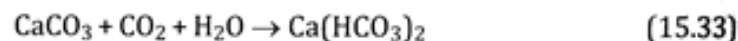
Odgazowanie chemiczne

Chemiczne odgazowanie stosuje się najczęściej do usuwania tlenu, którego maksymalna ilość w wodzie kotłowej zmienia się od $0,05 \text{ mg/dm}^3$, w kotłach wysokoprężnych, do $0,5 \text{ mg/dm}^3$, w przypadku kotłów zwykłych. W metodzie tej w zależności od zastosowanego reduktora, hydrazyny N_2H_4 , siarczynu sodowego Na_2SO_3 , ditlenku siarki SO_2 , a także podsiarczynu sodowego $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$, fosforanu sodowego Na_2PO_3 , lub chlorku żelazowego (II) FeCl_2 , zachodzą następujące reakcje:

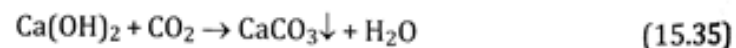


Dobre wyniki daje też filtrowanie wody przez wiórki żelazne i miedziane, które reagują z O_2 i CO_2 tworząc rdzę

Usuwanie chemiczne CO_2 nazywa się również odkwaszaniem, gdyż gaz ten jest bezwodnikiem kwasu węglowego. W zależności od zastosowanych materiałów, przez które filtruje się wodę (rozkruszony marmur lub Magno – produkt otrzymany z wypalania w $t = 700\div 725^\circ\text{C}$ dolomitu) zachodzą następujące reakcje:



W przypadku usuwania CO_2 wodą wapienną powstaje węglan wapnia, który należy odfiltrować



Metody odgazowania chemicznego zwiększają twardość wody lub jej zamulanie, które trzeba usunąć przez filtrowanie i demineralizację.



Metody chemiczne uzdatniania wody – odgazowanie wody

Odgazowanie katalityczne

Odgazowanie katalityczne jest modyfikacją odgazowania chemicznego, ale odnosi się tylko do usuwania z wody tlenu za pomocą wprowadzonego do niej wodoru. Reakcja odtleniania zachodzi na katalizatorze palladowym, osadzonym na porowatym wypełnieniu polimerowym



Metody chemiczne uzdatniania wody – fotokatalityczne uzdatnianie wody

Zanieczyszczenia wody związkami organicznymi można również usunąć za pomocą fotokatalizy heterogenicznej,

Półprzewodnikowe fotokatalizatory, np.: TiO_2 , aktywowane promieniowaniem słonecznym $h\nu$ lub ultrafioletowym UV uwalniają rodniki $\cdot\text{O}_2^-$, $\cdot\text{OH}_{\text{ads}}$, których zdolność utleniania jest znacznie większa, niż typowych utleniaczy O_3 , czy H_2O_2

Za pomocą fotokatalitycznego utleniania na ditlenku tytanu można z wody lub ścieków usunąć:

- ┆ kwasy i ich pochodne, również chlorowcopochodne;
- ┆ pochodne związków aromatycznych takich jak: benzen, dimetoksybenzeny, alkohol benzyłowy, estry kwasu ftalowego;
- ┆ rozpuszczalniki rozpuszczalne w wodzie np. etanol, alkoksyetanol;
- ┆ pestycydy;
- ┆ barwniki;
- ┆ związki wysokocząsteczkowe;
- ┆ środki powierzchniowo czynne

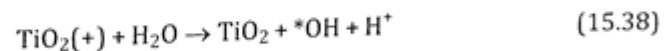
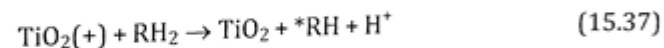
Przez modyfikowanie fotokatalizatora jonami metali lub innymi związkami chemicznymi można zwiększyć efektywność półprzewodnikowych fotokatalizatorów, ich selektywność oraz zmienić ich energię wzbudzenia, przez co mogą pracować przy innej długości fali promieniowania.



Metody chemiczne uzdatniania wody – fotokatalityczne uzdatnianie wody

Mechanizm fotokatalitycznego oczyszczania wody

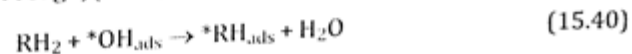
W wyniku naświetlania półprzewodnikowego fotokatalizatora np. TiO_2 wybite z pasma walencyjnego elektrony (e), pokonując barierę przerwy energetycznej $E_g = 3,2$ eV, przeskakują do pasma przewodnictwa. Po wybitych elektronach w paśmie walencyjnych pozostają dodatnio naładowane dziury (+). Jeżeli nie dojdzie do wewnętrznej rekombinacji te naładowane elektrony i dziury mogą reagować z zaadsorbowanymi na powierzchni fotokatalizatora związkami, w tym przypadku z zanieczyszczeniami wody.



Występujące w wodzie grupy hydroksylowe, wychwytywane przez dziury, ulegają transformacji w zaadsorbowane na powierzchni rodniki hydroksylowe

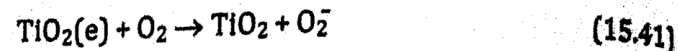


które są bardzo reaktywne i reagują z cząsteczkami zanieczyszczeń

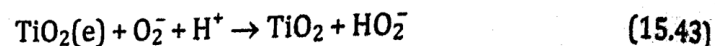
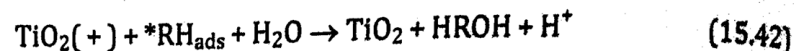


Metody chemiczne uzdatniania wody – fotokatalityczne uzdatnianie wody

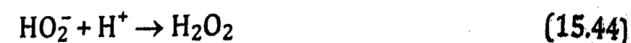
Jeżeli w wodzie jest jednocześnie rozpuszczony tlen to w kontakcie z elektronami z pasma przewodnictwa dochodzi do jego redukcji



Produkty pierwotne fotooksydacji i fotoredukcji rodniki ($^*\text{OH}$) i jony (O_2^-) mogą dalej reagować z kolejnymi elektronami i dziurami



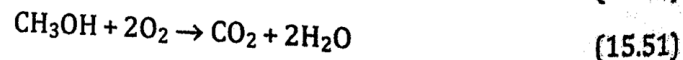
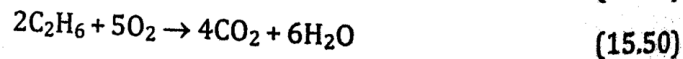
Utworzony jon nadtlenu wodoru może ulec rekombinacji z protonem



Przy czym rodniki pierwotne mogą reagować dalej tworząc w zależności od ich stężenia różne stabilne cząstki [15.18]



Jednak te stabilne cząsteczki związków organicznych ulegają, w obecności silnych utleniaczy $^*\text{OH}$, O_2^- i H_2O_2 , oksydacji do CO_2 i H_2O , np.: dla R będącego = CH_2 (15.37) i O_2^- mogą to być reakcje



Metody usuwania odpadów



Metody usuwania odpadów

1. Składowiska

- umieszczanie odpadów na składowiskach obejmuje układanie odpadów w gęsto upakowanych warstwach w uszczelnionych wykopach lub na kopcach, zapewniających ograniczenie wycieków i emisji gazów
- nie jest to metoda niszczenia odpadów, lecz sposób ich lokalizacji i przechowywania na czas nieokreślony
- mogą być stosowane do składowania zarówno odpadów komunalnych jak i niebezpiecznych
- zalety: niskie koszty, możliwość wytwarzania metanu, możliwość przeróbki lub obróbki odpadów w przyszłości, możliwość wykorzystania do współniszczenia niektórych rodzajów odpadów niebezpiecznych (poprzez reakcje rozkładu mikrobiologicznego)
- wady: niebezpieczeństwo wycieków i skażenia wód gruntowych, niebezpieczeństwo wybuchu metanu, brak odpowiednich miejsc na lokalizację nowych składowisk



Metody usuwania odpadów

2. Spopielenie

- polega na przemieszczeniu odpadów przez komorę o wysokiej temperaturze (około 1200°C) z odpowiednio dużym dopływem tlenu w celu utlenienia wszystkich materiałów organicznych
- jest uznawane za metodę niszczenia odpadów, chociaż w rzeczywistości jest jedynie sposobem ograniczania ich ilości
- popiół, stanowiący pozostałość nieorganiczną, musi być usuwany na kontrolowane składowiska
- zalety: niszczenie 99,999% odpadów organicznych (w tym ksenobiotyków chloroorganicznych), jeżeli proces jest właściwie prowadzony, zmniejszenie objętości odpadów oraz możliwość wykorzystania energii cieplnej do produkcji energii elektrycznej i ciepła
- wady: wysokie koszty, niebezpieczeństwo syntezy i emisji do atmosfery wysoce niebezpiecznych substancji szkodliwych, jeżeli warunki prowadzenia procesu nie są właściwe, wytwarzanie popiołów, które wymagają starannego rozmieszczenia na składowiskach



Metody usuwania odpadów

3. Kompostowanie

- polega na rozdrobnieniu i oddzieleniu substancji gnijących od odpadów komunalnych, ewentualnym wymieszaniu z innymi substancjami organicznymi (w tym szlamami ściekowymi) i pozostawieniu otrzymanego kompostu tak, aby przebiegały reakcje rozkładu mikrobiologicznego
- gotowy kompost jest wykorzystywany jako nawóz dla roślin, zwłaszcza jako zamiennik torfu

4. Recykling



Odpady niebezpieczne

- składają się z pojedynczych substancji niebezpiecznych i odpadów, które są lub potencjalnie mogą być niebezpieczne dla ludzi i innych organizmów żywych z powodu ich właściwości fizycznych lub chemicznych
- mogą powodować znaczne skażenie powietrza, wody i gleby, zanim zostaną oficjalnie poddane zniszczeniu

Metody usuwania odpadów niebezpiecznych:

1. Redukcja źródła odpadów niebezpiecznych

2. Obróbka wytworzonych odpadów:

a) metody fizyczne:

- separacja faz (filtracja, sedimentacja),
- przemiany fazowe (destylacja, odparowanie, strącanie metodami fizycznymi)
- przenoszenie między fazami (ekstrakcja, adsorpcja)
- rozdzielanie na membranach (odwrócona osmoza, hiper- i ultrafiltracja)

b) metody chemiczne:

- zobojętnianie (reakcje kwasowo-zasadowe)
- ekstrakcja chemiczna i ługowanie
- strącanie chemiczne
- utlenianie i redukcja
- wymiana jonowa
- elektroliza
- hydroliza
- fotoliza



Odpady niebezpieczne

c) obróbka cieplna:

- spopielenie
- utlenienie na mokro
- spalanie w łuku plazmowym – polega na wytworzeniu temperatury do 45000°C i stanu plazmy, która jest szczególnie użyteczna do niszczenia odpornych organicznych substancji szkodliwych, np. PCB i materiałów je zawierających (zaletą jest niemal całkowite zniszczenie ogniotrwałych organicznych substancji niebezpiecznych, ale wadą jest wysoki koszt procesu)
- niszczenie w solach stopionych – w środowisku soli stopionych w temp. 1650°C mogą być niszczone niebezpieczne związki chemiczne, np. DDT, bojowe środki trujące, korozyjne rozpuszczalniki i kwasy (zaletą jest fakt, że nie zużywa się tyle energii, ile w niektórych technikach spopielania, ale wadą jest skuteczność nie przekraczająca 99%)
- traktowanie przegrzaną wodą – woda ogrzana do temperatury 370°C pod ciśnieniem 22 MPa może rozpuszczać związki organiczne, które w warunkach normalnych są w niej nierozpuszczalne; dodanie tlenu do roztworu umożliwia przeprowadzenie związków organicznych w CO₂ i H₂O; związki nieorganiczne tworzą w tych warunkach sole; metoda konkurencyjna wobec spopielania jeżeli chodzi o zniszczenie większości związków organicznych

d) metody biotechnologiczne:

- zatapianie w oceanie
- składowanie wieloletnie
- tworzenie składowisk
- wstrzykiwanie podziemne
- tworzenie soli
- tworzenie obszarów jałowych, obszarów nienasyconych

