

# Katalaza (Catalase Enzyme) do oczyszczania ścieków: enzymatyczne usuwanie resztkowego H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Zespół badawczy Enzymes.bio · Wellington, Nowa Zelandia · June 19, 2026

Katalaza do oczyszczania ścieków służy przede wszystkim do szybkiego rozkładu pozostałości nadtlenu wodoru (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) do wody i tlenu po procesach utleniania, wybielania, dezynfekcji lub mycia przemysłowego. Nie jest samodzielną technologią pełnego oczyszczania ścieków, lecz wyspecjalizowanym dodatkiem procesowym, który pomaga chronić kolejne etapy biologiczne, membranowe lub recyrkulacyjne przed resztkowym utleniaczem. Enzymes.bio dostarcza ten produkt online w jednostkach 1 kg, a CoA i SDS są przekazywane wraz z zamówieniem.

## Czym jest katalaza w zastosowaniach ściekowych?

Katalaza jest enzymem oksydoredukcyjnym, którego podstawową funkcją biologiczną jest neutralizacja nadtlenu wodoru. Reakcja jest prosta, ale technologicznie bardzo użyteczna: dwie cząsteczki H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> są przekształcane w wodę i tlen. W organizmach tlenowych chroni to komórki przed stresem oksydacyjnym; w oczyszczaniu ścieków ten sam mechanizm można wykorzystać do usunięcia pozostałości H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> po wcześniejszym etapie procesu <sup>[1]</sup>.

W praktyce przemysłowej H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> jest stosowany jako utleniacz, środek wybielający, dezynfekujący lub składnik zaawansowanych procesów utleniania. Po spełnieniu funkcji technologicznej może jednak pozostać w strumieniu wody procesowej albo ścieków. Jeżeli taki strumień trafi bez kontroli do biologii, biofilmu, układu membranowego lub recyrkulacji, resztkowy nadtlenek wodoru może zaburzać stabilność procesu, ponieważ nadal działa jako reaktywny utleniacz.

Dlatego katalazę należy rozumieć jako enzym do **deperoksydacji**, czyli usuwania pozostałości nadtlenu wodoru, a nie jako uniwersalny preparat do redukcji ChZT, metali ciężkich, mikroplastików, barwników czy farmaceutyków. Nowoczesne oczyszczanie ścieków coraz częściej wymaga technologii łączonych — biologicznych, membranowych, sorpcyjnych, elektrochemicznych i utleniających — a katalaza pełni w takim układzie rolę precyzyjnego narzędzia pomocniczego <sup>[2]</sup>.

## Dlaczego resztkowy nadtlenek wodoru jest problemem?

Nadtlenek wodoru jest atrakcyjny technologicznie, ponieważ nie wprowadza chlorowanych pozostałości i może uczestniczyć w utlenianiu wielu zanieczyszczeń. W procesach Fentona i foto-Fentona H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> jest używany jako źródło reaktywnych form tlenu, zwłaszcza rodników hydroksylowych, które odpowiadają za degradację trudno rozkładalnych związków organicznych <sup>[3]</sup>. Problem pojawia się wtedy, gdy po zakończeniu reakcji w ściekach pozostaje nadmiar utleniacza.

Pozostały H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> może wpływać na mikroorganizmy odpowiedzialne za oczyszczanie biologiczne. W procesach biologicznego usuwania fosforu badano m.in. wpływ tetracykliny i jonów miedzi na aktywność katalazy mikroorganizmów, co pokazuje, że enzymy związane ze stresem oksydacyjnym reagują na skład chemiczny środowiska ściekowego <sup>[4]</sup>. Dla operatora oznacza to, że matryca ściekowa nie jest obojętna: obecność utleniaczy, metali, antybiotyków, środków powierzchniowo czynnych czy wysokiego zasolenia może zmieniać zachowanie procesów biologicznych.

Resztkowy nadtlenek wodoru jest szczególnie niepożądany przed etapami, które opierają się na żywej biomase: osadem czynnym, złożami biologicznymi, biofilmem, reaktorami beztlenowymi lub mokradłami skonstruowanymi. Technologie biofilmowe są szeroko opisywane jako użyteczne w oczyszczaniu ścieków przemysłowych, ale ich skuteczność zależy od stabilności mikrośrodowiska, dyfuzji substratów i tolerancji mikroorganizmów na związki toksyczne <sup>[5]</sup>. Usunięcie H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> przed takim etapem jest więc działaniem ochronnym, a nie „dodatkiem oczyszczaniem” w sensie redukcji całego ładunku zanieczyszczeń.

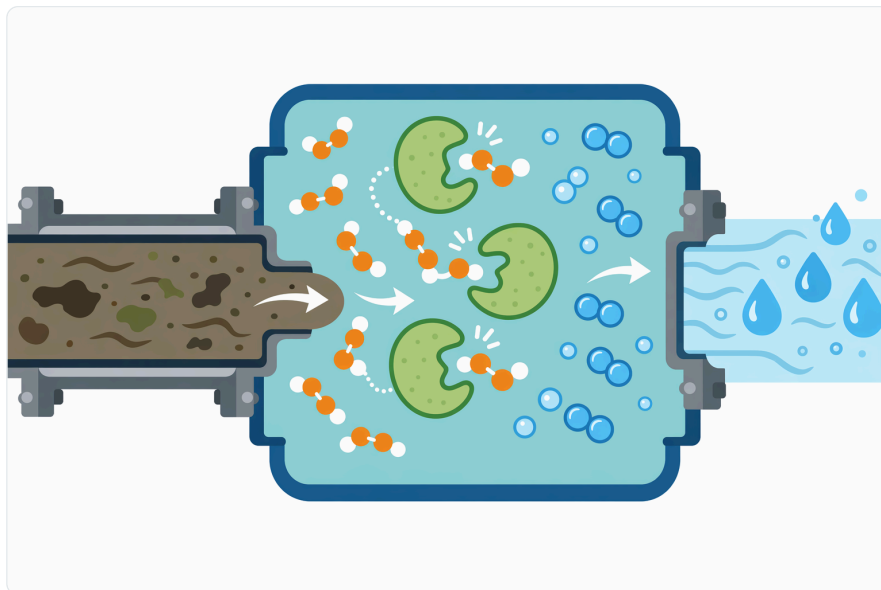


Figure 1. 카탈라아제는 산업 폐수에 남아 있는 과산화수소를 화학량론적 중화제를 추가하지 않고 물과 산소로 분해한다.

## Mechanizm działania katalazy: szybki rozpad $H_2O_2$ do wody i tlenu

Reakcję katalazy można zapisać następująco:



Z punktu widzenia procesu oznacza to, że związek utleniający zostaje przekształcony w produkty o znacznie mniejszym ryzyku dla dalszych etapów oczyszczania. Uwalnianie tlenu może objawiać się pienieniem lub pęcherzykowaniem, zwłaszcza gdy w ściekach znajduje się wyższa pozostałość  $H_2O_2$  albo gdy mieszanie zapewnia szybki kontakt enzymu z substratem. Sam fakt widocznego wydzielania gazu nie jest jednak wystarczającą oceną kompletności procesu; istotna jest kontrola zgodna z wymaganiami danej instalacji.

Katalaza działa selektywnie na nadtlenek wodoru. Nie jest flokulantem, koagulantem, adsorbentem, membraną ani utleniaczem szerokiego działania. Jej wartość polega na tym, że usuwa konkretny problem procesowy: pozostałość  $H_2O_2$  po wcześniejszym etapie. Przegląd dotyczący zastosowań katalazy w remediacji środowiskowej opisuje ten enzym jako narzędzie do rozkładu nadtlenu wodoru i ograniczania skutków reaktywnych form tlenu w układach środowiskowych [1].

Warto też odróżnić katalazę dodawaną jako preparat procesowy od naturalnej aktywności katalazowej mikroorganizmów. Mikroorganizmy obecne w osadzie czynnym lub biofilmie mogą same wytwarzać enzymy antyoksydacyjne, ale ich aktywność zależy od kondycji biomasy, składu ścieków i obciążenia toksycznego. Preparat enzymatyczny pozwala wprowadzić reakcję rozkładu  $H_2O_2$  w kontrolowanym punkcie procesu, zamiast polegać wyłącznie na zdolności adaptacyjnej biomasy.

## Gdzie katalaza pasuje w układzie oczyszczania ścieków?

Najbardziej logiczne miejsce dozowania katalazy znajduje się **po procesie wykorzystującym  $H_2O_2$** , a przed etapem wrażliwym na resztkowy utleniacz. Może to być zbiornik wyrównawczy, komora kontaktowa, odcinek recyrkulacji wody procesowej lub punkt przed wprowadzeniem ścieków do oczyszczania biologicznego. Produkt oferowany przez Enzymes.bio jest opisany właśnie jako katalaza do zastosowań środowiskowych i przemysłowych, w których potrzebna jest dekompozycja pozostałości  $H_2O_2$  w ściekach .

Typowy ciąg technologiczny może wyglądać następująco:

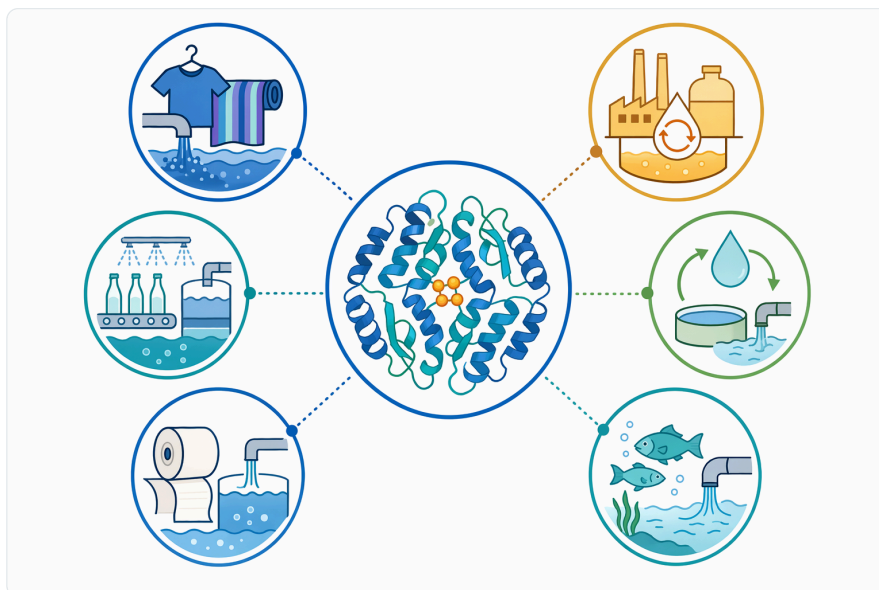


Figure 2. 과산화물이 포함된 폐수는 섬유 표백, 식음료 위생 처리, 유제품 관련 공정수, 펄프 및 제지 표백, 제약 세정, 병원 소독, 화학적 산화, 산업 세정 과정에서 발생할 수 있다.

proces z użyciem  $H_2O_2$  → etap kontaktu z katalazą → kontrola pozostałości  $H_2O_2$  → biologia / membrany / recykling / zrzut

Takie umiejscowienie jest szczególnie istotne w instalacjach, które łączą utlenianie chemiczne z procesami biologicznymi. W ściekach przemysłowych coraz częściej wykorzystuje się hybrydowe konfiguracje, ponieważ pojedyncza technologia rzadko usuwa wszystkie zanieczyszczenia w sposób ekonomiczny i stabilny. Przeglądy dotyczące membranowych bioreaktorów oraz integracji MBR z narzędziami optymalizacji wskazują, że układy biologiczno-membranowe mogą być skuteczne, ale wymagają kontroli warunków operacyjnych i składników zakłócających [6].

Katalaza nie powinna być więc traktowana jako „zastępstwo oczyszczalni”. Jeżeli ściek zawiera wysoki ładunek organiczny, metale, mikrozanieczyszczenia, mikroplastiki lub substancje trudno biodegradowalne, potrzebne są odpowiednie technologie właściwe dla tych problemów. Katalaza może natomiast poprawić kompatybilność strumienia z takimi technologiami, jeśli główną przeszkodą jest obecność  $H_2O_2$ .

## Typowe branże, w których usuwa się $H_2O_2$ ze ścieków

### Przemysł tekstylny

W przemyśle tekstylnym nadtlenek wodoru jest powszechnie kojarzony z wybielaniem i przygotowaniem włókien. Po takim etapie jego pozostałość może zakłócać barwienie, wpływać na zużycie wody płuczącej lub utrudniać późniejsze oczyszczanie biologiczne ścieków. Katalaza może skrócić etap deperoksydacji, ponieważ przekształca  $H_2O_2$  bez konieczności oczekiwania na jego powolny rozpad.

Znaczenie tego rozwiązania wynika z charakteru ścieków tekstylnych: są zmienne, często barwne i mogą zawierać surfaktanty, sole, środki pomocnicze oraz pozostałości procesowe. Katalaza nie usuwa tych wszystkich składników, ale może rozwiązać konkretny problem pozostałości utleniacza przed dalszym oczyszczaniem. Produkt Enzymes.bio jest pozycjonowany do zastosowań w ściekach przemysłowych, gdzie wymagana jest neutralizacja  $H_2O_2$ .

### Papier, celuloza i wody procesowe po wybielaniu

W sektorze papierniczym i celulozowym  $H_2O_2$  może być stosowany w etapach wybielania masy włóknistej lub obróbki wody procesowej. Pozostałości utleniacza mogą wpływać na stabilność kolejnych operacji, w tym biologicznego doczyszczania i recyrkulacji. Katalaza sprawdza się tutaj jako enzym kończący działanie nadtlenu wodoru po osiągnięciu efektu technologicznego.

W takich układach kluczowe jest prawidłowe rozdzielenie ról: utlenianie odpowiada za określony efekt procesowy, a katalaza za zatrzymanie aktywności pozostałego  $H_2O_2$ . To szczególnie ważne, gdy celem zakładu jest ograniczanie zużycia wody i zwiększanie recykulacji, ponieważ resztkowe reagenty w pętli wodnej mogą kumulować zakłócenia.

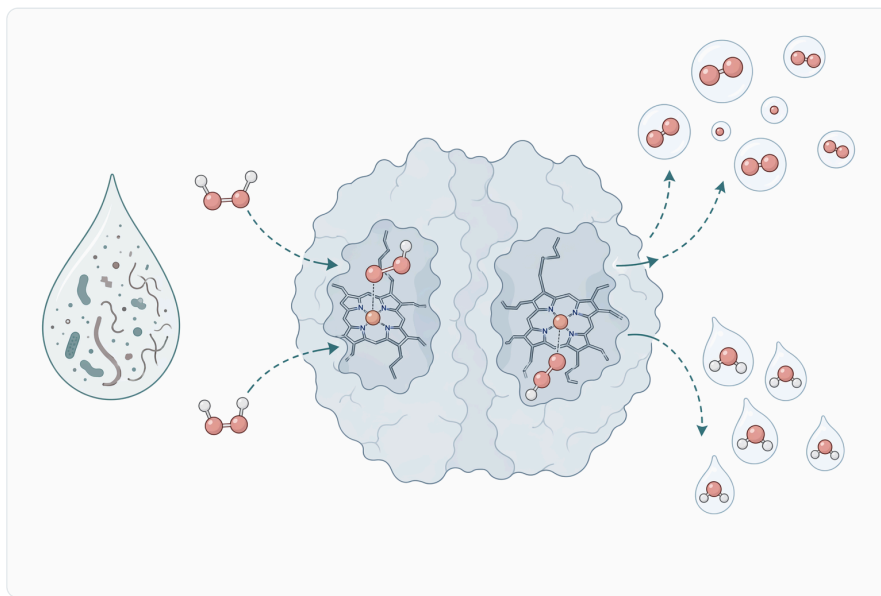


Figure 3. 카탈라아제는 활성 부위를 순환적으로 작동시켜 과산화수소 두 분자를 물 두 분자와 산소 한 분자로 전환한다.

### Elektronika, mikroelektronika i obróbka powierzchni

Ścieki z przemysłu mikroelektronicznego są wymagające ze względu na obecność mieszanin reagentów, środków czyszczących, metali, związków nieorganicznych i substancji o wysokiej czystości technologicznej. Przegląd dotyczący oczyszczania ścieków z mikroelektroniki podkreśla złożoność tych strumieni i potrzebę wieloetapowych rozwiązań technologicznych <sup>[7]</sup>. Jeżeli w takich procesach stosowany jest  $H_2O_2$ , jego pozostałość powinna być kontrolowana przed etapami wrażliwymi na utleniacze.

Katalaza w tym sektorze nie rozwiązuje problemu metali, fluorków, kwasów, zasad ani specyficznych reagentów procesowych. Może jednak pełnić funkcję selektywnego narzędzia do redukcji  $H_2O_2$  w strumieniu, który został wcześniej odpowiednio przygotowany pod względem pH, zawiesin i kompatybilności chemicznej.

### Przemysł spożywczy, napojowy i higiena procesowa

W przemyśle spożywczym nadtlenek wodoru może pojawiać się w dezynfekcji, myciu opakowań, płukaniu instalacji lub jako składnik procedur higienicznych. Po zakończeniu działania utleniacza pozostałość  $H_2O_2$  może trafić do ścieków zakładowych. Jeżeli zakład korzysta z oczyszczania biologicznego, obecność nadtlenu wodoru w dopływie może być czynnikiem stresowym dla mikroflory.

Katalaza jest w tym kontekście sposobem na szybkie „wygaszenie” aktywności  $H_2O_2$  przed włączeniem ścieku do głównego strumienia. Ma to znaczenie zwłaszcza przy okresowych zrzutach po myciu lub dezynfekcji, gdzie stężenia utleniacza mogą być bardziej zmienne niż w standardowym dopływie procesowym.

### Farmacja, kosmetyki i ścieki z procesów specjalistycznych

Ścieki farmaceutyczne i medyczo-farmaceutyczne są przedmiotem intensywnych badań, ponieważ mogą zawierać mieszaniny związków biologicznie aktywnych, metabolitów, rozpuszczalników i środków dezynfekcyjnych. Analizy trendów badawczych wskazują, że oczyszczanie takich ścieków jest rozwijane jako osobny, wymagający obszar technologii środowiskowych <sup>[8]</sup>. Jeśli  $H_2O_2$  jest stosowany w dezynfekcji lub utlenianiu, katalaza może być użyteczna do jego usunięcia przed kolejnymi etapami.

Nie należy jednak interpretować tego jako dowodu, że katalaza usuwa farmaceutyki. Jej podstawowym zadaniem pozostaje dekompozycja  $H_2O_2$ . Degradacja mikrozanieczyszczeń wymaga zwykle osobnych procesów, takich jak AOP, adsorpcja, membrany, biologiczne doczyszczanie lub ich kombinacje.

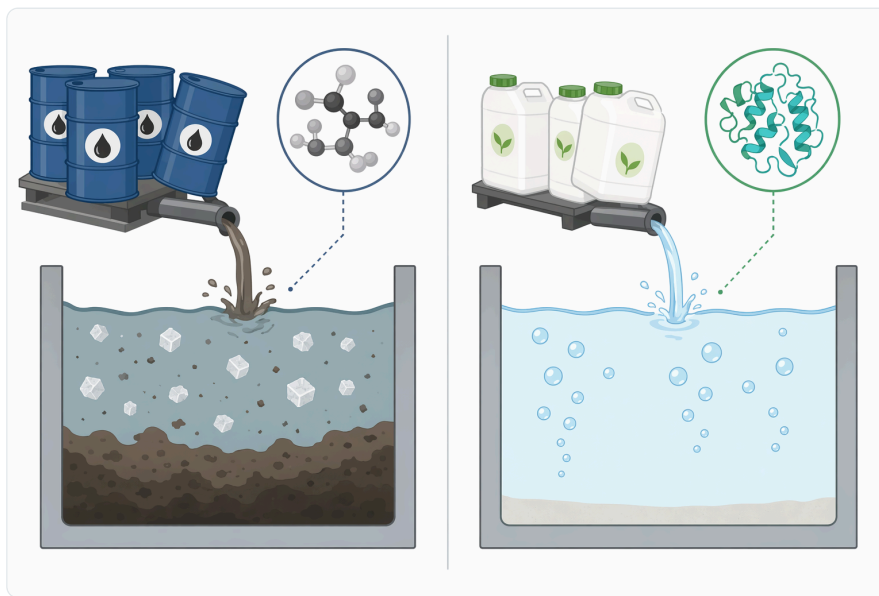


Figure 4. 카탈라아제는 과산화물 제거 반응이 중화제에서 유래한 용존 잔류물이 아니라 물과 산소를 생성한다는 점에서 아황산염 계열의 소거 방식과 다르다.

## Porównanie: katalaza a inne sposoby kontroli $H_2O_2$

| Podejście                        | Główna funkcja                                    | Mocne strony  | Ograniczenia  | Typowe miejsce w procesie  |
|----------------------------------|---|---|---|--|
| Katalaza enzymatyczna            | Selektywny rozkład $H_2O_2$ do wody i tlenu       | Szybka reakcja, brak typowego dosalania strumienia, kompatybilność z celem ochrony biologii | Wrażliwość na skrajne warunki i inhibitory; nie usuwa innych zanieczyszczeń                 | Po etapie z $H_2O_2$ , przed biologią, membranami lub recyklingiem |
| Oczekiwanie na samorzutny rozpad | Pasywne zmniejszanie pozostałości $H_2O_2$        | Proste organizacyjnie, bez dodatku enzymu   | Może być zbyt wolne; wymaga pojemności retencyjnej i kontroli czasu                         | Zbiorniki retencyjne lub wyrównawcze                               |
| Neutralizacja chemiczna          | Reakcja $H_2O_2$ z reagentem redukującym          | Może być skuteczna w krótkim czasie   | Może wprowadzać dodatkowe jony, produkty uboczne lub wymagać korekt procesu                 | Zbiornik reakcyjny przed dalszym oczyszczaniem                     |
| Rozkład przez biomasę            | Wykorzystanie naturalnych enzymów mikroorganizmów | Może zachodzić w istniejącym układzie biologicznym  | Ryzyko stresu oksydacyjnego i niestabilności biomasy przy wyższych pozostałościach $H_2O_2$ | Osad czynny, biofilm, układy biologiczne                           |
| Dalsze AOP                       | Dodatkowe utlenianie zanieczyszczeń               | Przydatne dla związków trudno degradablenych  | Nie jest etapem deperoksydacji samym w sobie; może pozostawić utleniacze                    | Przed końcowym oczyszczaniem lub doczyszczaniem                    |

Tabela pokazuje najważniejszą różnicę: katalaza jest metodą ukierunkowaną na  $H_2O_2$ , a nie ogólnym sposobem oczyszczania ścieków. W porównaniu z neutralizacją chemiczną może ograniczać wprowadzanie dodatkowych produktów reakcji, ale jej działanie nadal zależy od warunków procesu. W porównaniu z pasywnym oczekiwaniem może skrócić etap kontaktu, lecz wymaga zapewnienia właściwego mieszania i kontaktu enzymu z nadtlenkiem wodoru.

## Czynniki wpływające na skuteczność katalazy w ściekach

### pH i temperatura

Katalaza, jak każdy enzym, ma zakres warunków, w których zachowuje użyteczną aktywność. Skrajnie kwaśne lub zasadowe środowisko, wysoka temperatura, gwałtowne zmiany parametrów albo obecność silnych reagentów mogą obniżyć skuteczność procesu. W ściekach przemysłowych istotne jest więc nie tylko to, ile  $H_2O_2$  pozostało po etapie utleniania, ale także czy matryca ściekowa pozwala enzymowi działać wystarczająco szybko.

W praktyce katalaza najlepiej pasuje do punktów procesu, w których ściek został już wyrównany i nie zawiera skrajnych warunków chemicznych. Jeżeli nadtlenek wodoru pochodzi z bardzo agresywnego etapu technologicznego, sensowne jest traktowanie katalazy jako elementu pośredniego po wstępnej stabilizacji strumienia, a nie jako dodatku do niekontrolowanej mieszaniny reakcyjnej.

### Skład matrycy ściekowej

Ścieki przemysłowe rzadko są prostym roztworem  $H_2O_2$  w wodzie. Mogą zawierać metale, surfaktanty, sole, biocydy, rozpuszczalniki, barwniki, zawiesiny, środki chelatujące i produkty uboczne wcześniejszego utleniania. Badania środowiskowe pokazują, że aktywność enzymów, w tym katalazy, jest wrażliwa na zanieczyszczenia i warunki ekotoksykologiczne; katalaza bywa stosowana jako wskaźnik stresu oksydacyjnego w organizmach lub środowiskach zanieczyszczonych [9].

To nie oznacza, że katalaza nie działa w ściekach złożonych. Oznacza natomiast, że skuteczność należy rozpatrywać w kontekście rzeczywistego strumienia, a nie wyłącznie teoretycznej reakcji. Obecność substancji hamujących, bardzo wysoka zawiesina lub brak mieszania mogą spowolnić rozkład  $H_2O_2$  mimo poprawnego mechanizmu enzymatycznego.

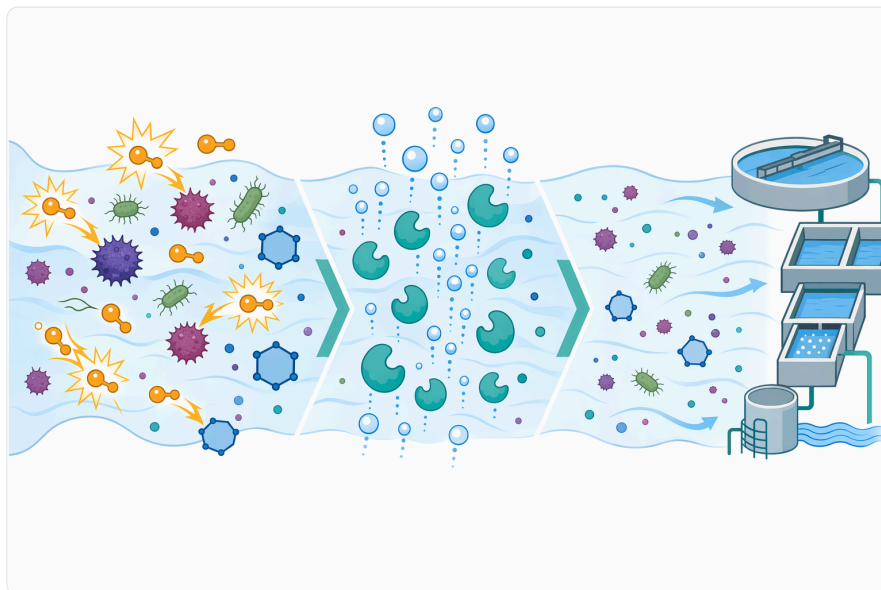


Figure 5. 카탈라아제는 과산화수소의 잔류 산화력을 제거하고 산소를 방출하지만, 그 자체로 다른 폐수 오염물질을 제거하지는 않는다.

### Czas kontaktu i mieszanie

Reakcja katalazy wymaga kontaktu enzymu z nadtlenkiem wodoru. W zbiorniku procesowym znaczenie mają więc rozprowadzenie preparatu, turbulencja, objętość robocza, czas przebywania i jednorodność strumienia. Zbyt krótki kontakt może pozostawić część  $H_2O_2$ , a zbyt słabe mieszanie może powodować lokalne strefy niedoreagowania.

Jednocześnie nie warto utożsamiać intensywności mieszania z agresywną obróbką mechaniczną. Celem jest równomierne rozprowadzenie enzymu i substratu, a nie nadmierne napowietrzanie czy ścinanie. Ponieważ produktem reakcji jest tlen, układ powinien również uwzględniać możliwość odgazowania i bezpiecznego odprowadzenia piany, jeżeli strumień ma skłonność do pienienia.

## Katalaza a zaawansowane procesy utleniania

Zaawansowane procesy utleniania, takie jak Fenton, foto-Fenton, układy UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> czy inne konfiguracje rodnikowe, są stosowane do degradacji związków trudno biodegradowalnych. Ich przewaga wynika z generowania reaktywnych form tlenu, lecz właśnie dlatego etap końcowy wymaga kontroli pozostałości utleniaczy. Przegląd procesów Fentona i foto-Fentona podkreśla ich znaczenie w oczyszczaniu ścieków, ale także złożoność operacyjną tych technologii [3].

Katalaza może być używana po takim etapie jako „stop” dla nadmiaru H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Nie degraduje jednak zanieczyszczeń w taki sam sposób jak AOP. Jeżeli celem jest rozkład trwałych związków organicznych, etap utleniania musi być zaprojektowany niezależnie; katalaza pojawia się dopiero wtedy, gdy pozostały H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ma zostać usunięty przed biologią, membraną, recyrkulacją lub zrzutem.

Takie rozróżnienie jest ważne dla interpretacji wyników. Spadek H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> po katalazie nie jest równoznaczny ze spadkiem całkowitego ładunku organicznego. Może natomiast poprawić warunki dla kolejnych technologii, które odpowiadają za właściwą redukcję ChZT, BZT, azotu, fosforu lub mikrozanieczyszczeń.

## Katalaza a oczyszczanie biologiczne

Procesy biologiczne opierają się na aktywności mikroorganizmów, które przekształcają związki organiczne i biogeny. W układach tlenowych i beztlenowych równowaga mikrobiologiczna jest wrażliwa na toksyczne skoki obciążenia, inhibitory i nagłe zmiany środowiska. Anaerobowe bioreaktory membranowe są przykładem technologii, w której połączenie procesów biologicznych i separacji membranowej wymaga kontroli warunków, ponieważ stabilność biomasy i jakość permeatu zależą od wielu czynników operacyjnych [10].

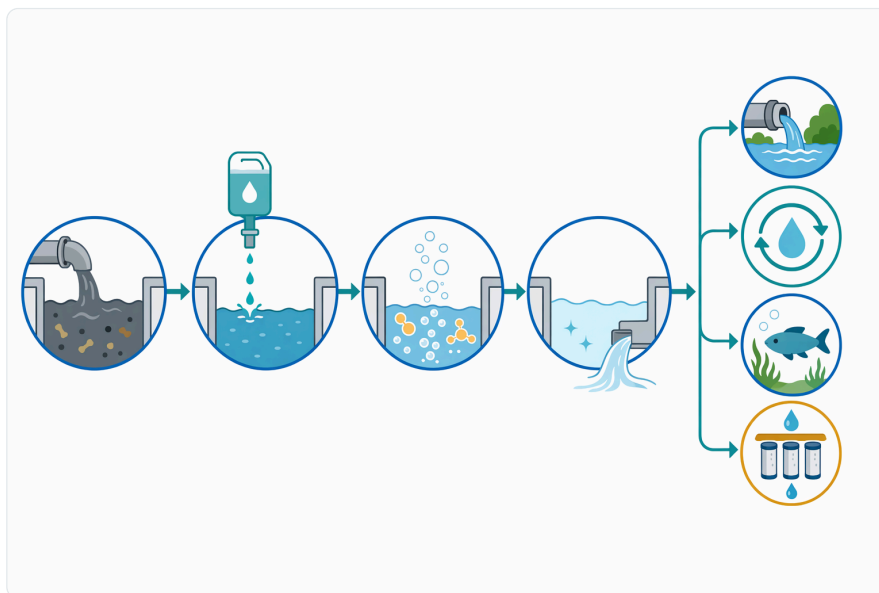


Figure 6. 실용적인 카탈라아제 처리 단계는 처리수와의 적합성, 효과적인 혼합, 충분한 접촉 시간, 산소 관리, 잔류 과산화물 감소 확인에 달려 있다.

Pozostały H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> może działać na mikroorganizmy jak czynnik stresowy. W niskich ilościach część biomasy może go rozkładać dzięki własnym enzymom antyoksydacyjnym, ale wyższe lub powtarzalne impulsy mogą zaburzać metabolizm i strukturę społeczności. Katalaza zastosowana przed biologią zmniejsza ryzyko, że etap oczyszczania biologicznego stanie się miejscem niekontrolowanej neutralizacji utleniacza.

W praktyce ma to znaczenie w zakładach, w których strumienie po myciu, wybielaniu lub dezynfekcji trafiają okresowo do wspólnej kanalizacji przemysłowej. Jeżeli takie zrzuty nie są wyrównane, biologia może doświadczać krótkich, ale intensywnych impulsów utleniających. Enzymatyczna deperoksydacja w punkcie powstawania lub przed zbiornikiem wyrównawczym może pomóc ograniczyć tę zmienność.

## Czego katalaza nie zrobi?

Katalaza nie usuwa metali ciężkich. Do takich zanieczyszczeń literatura opisuje biomateriały, kompozyty funkcjonalne, sorpcję, strącanie, membrany i inne procesy właściwe dla jonów metali [11]. Jeżeli problemem są miedź, nikiel, kadm, ołów, chrom lub arsen, sama dekompozycja  $H_2O_2$  nie jest wystarczającą technologią oczyszczania.

Katalaza nie usuwa mikroplastików. Przeglądy dotyczące mikroplastików w oczyszczalniach wskazują na znaczenie koagulacji, separacji, osadów, filtracji i innych procesów fizykochemicznych [12]. Enzym może jedynie usunąć nadtlenek wodoru, jeśli był używany w poprzednim etapie; nie zastąpi separacji cząstek.

Katalaza nie jest też pełnym rozwiązaniem dla ścieków farmaceutycznych, mikroelektronicznych czy silnie zasolonych. W takich przypadkach może być przydatna jako etap pomocniczy, ale podstawowa technologia musi odpowiadać rzeczywistemu profilowi zanieczyszczeń. To rozróżnienie chroni przed błędnym założeniem, że jeden enzym rozwiąże wszystkie problemy procesu.

## Informacje o produkcie Enzymes.bio

**Catalase Enzyme For Wastewater Treatment** jest oferowany przez Enzymes.bio jako produkt enzymatyczny do zastosowań przemysłowych i środowiskowych związanych z rozkładem pozostałości  $H_2O_2$  w ściekach i wodzie procesowej. Enzymes.bio pełni rolę dostawcy online; nie należy przedstawiać firmy jako producenta enzymu ani laboratorium badawczego.

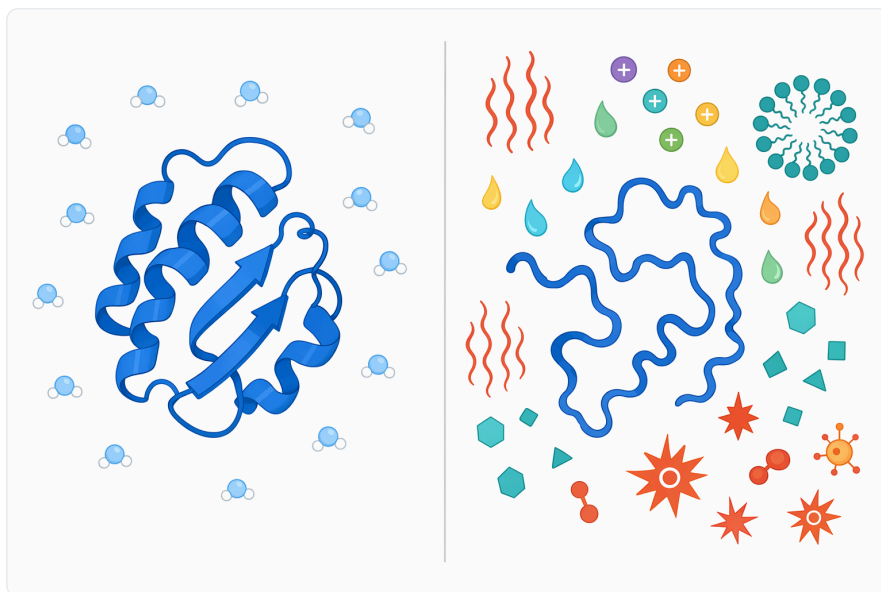


Figure 7. 폐수 조건이 단백질 구조를 손상시키거나 효소 활성 부위를 억제하면 카탈라아제의 성능이 저하될 수 있다.

Produkt jest sprzedawany bezpośrednio online w jednostkach 1 kg. Dokumenty CoA i SDS są dostarczane wraz z zamówieniem, co wspiera identyfikowalność partii i bezpieczne obchodzenie się z produktem w zakładzie. Niniejszy dokument ma charakter techniczno-edukacyjny: wyjaśnia mechanizm i typowe zastosowanie katalazy, ale nie zastępuje projektu instalacji, oceny zgodności środowiskowej ani instrukcji operacyjnej właściwej dla konkretnego zakładu.

Dla użytkownika przemysłowego najważniejsze jest prawidłowe osadzenie enzymu w procesie. Katalaza powinna być traktowana jako narzędzie do kontroli nadtlenu wodoru po procesach, w których  $H_2O_2$  był używany celowo. Największą wartość daje tam, gdzie resztkowy utleniacz utrudnia przejście do biologii, membran, recyrkulacji lub bezpiecznego odprowadzenia ścieków.

## Najważniejsze wnioski techniczne

Katalaza do oczyszczania ścieków jest najbardziej uzasadniona wtedy, gdy problemem jest **reszkowy nadtlenek wodoru**, a nie ogólnie rozumiane zanieczyszczenie ścieków. Jej mechanizm jest dobrze określony: enzym katalizuje rozpad  $H_2O_2$  do wody i tlenu, ograniczając potencjał utleniający strumienia przed kolejnymi etapami <sup>[1]</sup>.

W systemach przemysłowych katalaza najlepiej działa jako etap pośredni po wybielaniu, dezynfekcji, myciu, Fentonie, UV/ $H_2O_2$  lub innym procesie wykorzystującym nadtlenek wodoru. Może poprawić warunki dla oczyszczania biologicznego, biofilmów, membran i recyrkulacji wody, ale nie zastępuje technologii przeznaczonych do usuwania ChZT, metali, mikroplastików czy mikrozanieczyszczeń.

Dla zakładów korzystających z  $H_2O_2$  najważniejsza korzyść jest praktyczna: enzymatyczna deperoksydacja pozwala zakończyć działanie utleniacza w kontrolowanym miejscu procesu. Dzięki temu katalaza pełni rolę precyzyjnego dodatku technologicznego, który wspiera stabilność oczyszczania, zamiast wprowadzać nieuzasadnione obietnice pełnej remediacji ścieków.

### Zamów Catalase Enzyme For Wastewater Treatment online

Sprzedawany w jednostkach 1 kg, dostępny z magazynu i gotowy do wysyłki. Zamów bezpośrednio w naszym sklepie — zapłać online, a my przetworzymy Twoje zamówienie. Do każdego zamówienia dołączamy Certyfikat Analizy i Kartę Charakterystyki.

[Kup Catalase Enzyme For Wastewater Treatment →](#)

## Bibliografia

Ponumerowano według kolejności pierwszego cytowania. Źródła open access, każde zweryfikowane jako dostępne w momencie publikacji; numery cytowań w tekście prowadzą tutaj.

1. Takio, N., Yadav, M., & Yadav, H. S. (2021). [Catalase-mediated remediation of environmental pollutants and potential application – a review](#). *Biocatalysis and Biotransformation*, 39, 389 - 407.
2. Al-Hazmi, H., Mohammadi, A., Hejna, A., Majtacz, J., Esmaeili, A., Habibzadeh, S., Saeb, M., ... et al. (2023). [Wastewater treatment for reuse in agriculture: Prospects and challenges](#). *Environmental Research*, 116711 .
3. Machado, F., Teixeira, A. C., & Ruotolo, L. (2023). [Critical review of Fenton and photo-Fenton wastewater treatment processes over the last two decades](#). *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20, 13995-14032.
4. Man, Y., Zhang, H., Huang, J., Shan-Xi, Wang, J., Tao, H., & Zhou, Y. (2021). [Combined effect of tetracycline and copper ion on catalase activity of microorganisms during the biological phosphorus removal](#). *Journal of Environmental Management*, 304, 114218 .
5. Maurya, A., Kumar, R., & Raj, A. (2023). [Biofilm-based technology for industrial wastewater treatment: current technology, applications and future perspectives](#). *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 39.
6. Chang, H., Liu, Y., Keng, C., Jiang, H., & Hu, J. (2024). [Challenges of industrial wastewater treatment: utilizing Membrane bioreactors \(MBRs\) in conjunction with artificial intelligence \(AI\) technology](#). *Journal of Industrial and Production Engineering*, 41, 422 - 427.
7. Noman, E., Al-Gheethi, A. A., Al-Sahari, M., Yashni, G., Mohamed, R., Soon, C. F., Nguyen, H. T., ... et al. (2024). [An insight into microelectronics industry wastewater treatment, current challenges, and future perspectives: a critical review](#). *Applied Water Science*, 14.
8. Wang, L., Xu, Y., Qin, T., Wu, M., Chen, Z., Ya-Zhang, Liu, W., ... et al. (2023). [Global trends in the research and development of medical/pharmaceutical wastewater treatment over the half-century](#). *Chemosphere*, 331, 138775 - 138775.
9. Zhang, H., Ma, K., Yang, Y., Shi, C., Chen, G., & Liu, D. (2018). [Molecular cloning, characterization, expression and enzyme activity of catalase from planarian \*Dugesia japonica\* in response to environmental pollutants](#). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 165, 88-95 .
10. Kanafin, Y., Kanafina, D., Malamis, S., Katsou, E., Inglezakis, V., Pouloupoulos, S., & Arkhangelsky, E. (2021). [Anaerobic Membrane Bioreactors for Municipal Wastewater Treatment: A Literature Review](#). *Membranes*, 11.
11. Kurniawan, T. A., Lo, W., Liang, X., Goh, H., Othman, M., Chong, K., Mohyuddin, A., ... et al. (2023). [Heavy Metal Removal from Aqueous Solutions Using Biomaterials and/or Functional Composites: Recent Advances and the Way Forward in Wastewater Treatment Using Digitalization](#). *Journal of Composites Science*.
12. Reza, T., Riza, Z. H. M., Abdullah, S. R. S., Hasan, H. A., Ismail, N., & Othman, A. R. (2023). [Microplastic Removal in Wastewater Treatment Plants \(WWTPs\) by Natural Coagulation: A Literature Review](#). *Toxics*, 12.

## Skontaktuj się z Enzymes.bio


Masz pytania dotyczące zamówienia? Nasz zespół chętnie pomoże.

E-MAIL [wholesale@enzymes.bio](mailto:wholesale@enzymes.bio)

TELEFON (USA) **+1 (507) 428-6057**

[Skontaktuj się z nami →](#)

 **400+** klientów B2B

 **60+** partnerów badawczych z uczelni

 **54** obsługiwanych na całym świecie

© 2026 Enzymes.bio · Dostawy enzymów przemysłowych i do przetwórstwa żywności · Nie do spożycia przez ludzi ani sprzedaży detalicznej.