

# Glucose Oxidase do kontroli glukozy, tlenu i nadtlenu wodoru w procesach B2B

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

**Glucose Oxidase, czyli oksydaza glukozowa, to enzym FAD-zależny, który utlenia  $\beta$ -D-glukozę z udziałem tlenu, tworząc produkt glukonowy oraz nadtlenek wodoru.** W praktyce przemysłowej GOx glucose oxidase jest użyteczna tam, gdzie proces wymaga jednoczesnego obniżenia dostępności glukozy, zużycia tlenu lub kontrolowanego wytwarzania  $H_2O_2$  — zwłaszcza w żywności, piekarnictwie, paszach, biosensorach i systemach immobilizowanych <sup>[1]</sup>.

## Czym jest Glucose Oxidase i dlaczego jest ważna technologicznie?

Glucose oxidase, często skracana jako GOx albo GOD, należy do oksydoreduktaz i jest jednym z najlepiej rozpoznanych enzymów wykorzystujących glukozę jako substrat. Jej znaczenie technologiczne wynika z bardzo prostego, ale użytecznego sprzężenia reakcji: enzym rozpoznaje glukozę, przenosi elektrony na tlen cząsteczkowy i generuje produkty, które zmieniają środowisko procesu. Z tego powodu oksydaza glukozowa jest opisywana nie tylko jako enzym do „usuwania glukozy”, ale jako narzędzie do projektowania lokalnego bilansu tlenu, kwasowości i reaktywności utleniającej <sup>[1]</sup>.

Najczęściej omawiane przemysłowo źródła GOx obejmują grzyby strzępkowe, szczególnie *Aspergillus niger*, a literatura biotechnologiczna opisuje również strategie produkcji w innych mikroorganizmach. Prace nad wykorzystaniem odpadów roślinnych, takich jak obierki z pochrzynu, jako źródła węgla dla *Aspergillus niger* pokazują, że wytwarzanie oksydazy glukozowej jest aktywnym obszarem optymalizacji procesowej i surowcowej <sup>[2]</sup>. Równoległe badania nad systemami ekspresyjnymi, takimi jak *Pichia pastoris*, koncentrują się na zwiększaniu sekrecji i dopasowaniu właściwości białka do wymagań aplikacyjnych <sup>[3]</sup>.

Z punktu widzenia użytkownika B2B najważniejsze nie jest samo pochodzenie biologiczne enzymu, lecz jego funkcja w matrycy technologicznej. GOx wymaga jednoczesnej dostępności glukozy i tlenu, dlatego nie zachowuje się jak klasyczny dodatek chemiczny o natychmiastowym działaniu niezależnym od

środowiska. Jeżeli jeden z dwóch głównych substratów jest ograniczony, reakcja spowalnia; jeżeli oba są dostępne, enzym może wpływać na produkt przez zużycie tlenu, wytworzenie produktu glukonowego i powstanie nadtlenu wodoru.

## Mechanizm reakcji: 1 cząsteczka glukozy, 1 cząsteczka tlenu, 1 cząsteczka H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Podstawowy schemat działania oksydazy glukozowej można przedstawić jako reakcję stechiometryczną: jedna cząsteczka β-D-glukozy jest utleniana z udziałem jednej cząsteczki tlenu, a w wyniku reakcji powstaje D-glukono-δ-lakton oraz jedna cząsteczka nadtlenu wodoru. Lakton może następnie ulegać hydrolizie do kwasu glukonowego. Ta relacja 1:1:1 jest kluczowa praktycznie, ponieważ oznacza, że reakcja GOx łączy trzy efekty: ubytek glukozy, ubytek tlenu i pojawienie się H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> [4].

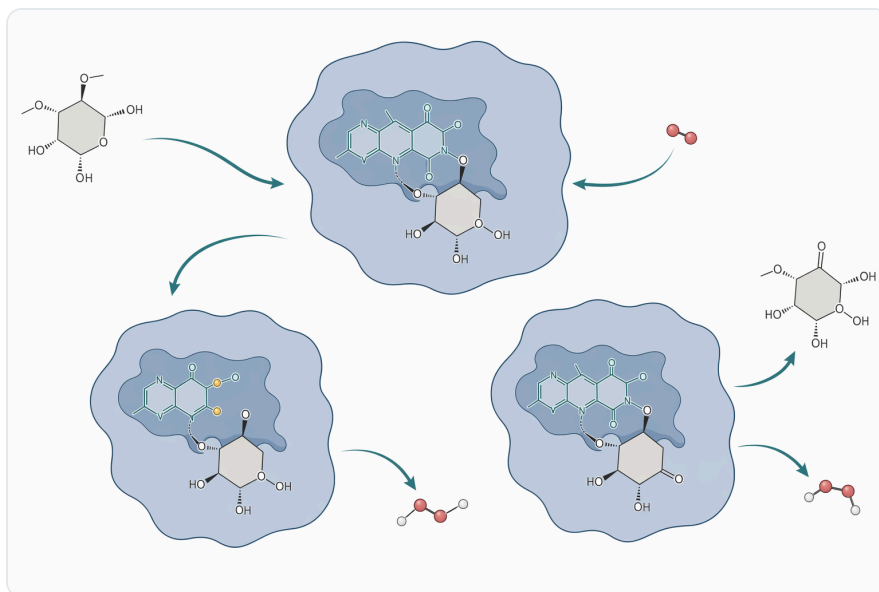
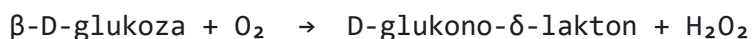


Figure 1. 포도당 산화효소는 산소를 이용해 베타-D-포도당을 산화시켜 글루코노락톤과 과산화수소를 생성한다.



W centrum katalicznym GOx znajduje się kofaktor flawinowy, który przechodzi między stanem utlenionym i zredukowanym. W pierwszym etapie glukoza redukuje enzym, a sama zostaje przekształcona w produkt glukonowy; w drugim etapie zredukowany enzym przekazuje elektrony na tlen, tworząc nadtlenek wodoru. Badania nad zależnością aktywności GOx od pH wskazują, że lokalne środowisko protonowe wpływa na równowagę poszczególnych etapów reakcji, dlatego zachowanie enzymu w cieście, napoju, biosensorych lub hydrożelu nie musi być identyczne [4].

W zastosowaniach elektrochemicznych lub sensorowych tlen nie zawsze jest jedynym akceptorem elektronów brany pod uwagę. Prace nad projektowaniem GOx dla określonego pH i mediatorów elektronowych pokazują, że można optymalizować enzym pod kątem współpracy z mediatorami redoks, co jest ważne w czujnikach i bioelektrodach [5]. Dla typowych zastosowań żywnościowych najważniejszy pozostaje jednak wariant tlenowy, ponieważ to on bezpośrednio wiąże się z usuwaniem tlenu i powstawaniem H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

## Co decyduje o skuteczności GOx w realnej matrycy?

Pierwszym ograniczeniem jest dostępność glukozy. Oksydaza glukozowa działa specyficznie na glukozę, więc w układach ubogich w ten cukier efekt zużycia tlenu będzie ograniczony niezależnie od ilości enzymu. W produktach złożonych glukoza może być obecna naturalnie, uwalniana z innych węglowodanów lub dodawana technologicznie; w każdym przypadku liczy się frakcja rzeczywiście dostępna dla enzymu, a nie tylko całkowita zawartość cukrów w recepturze.

Drugim ograniczeniem jest tlen. GOx zużywa tlen jako akceptor elektronów, ale tlen musi dotrzeć do fazy, w której znajduje się enzym i glukoza. W cieście dostępność tlenu jest związana z mieszaniem, napowietrzeniem i lepkością; w napojach — z rozpuszczalnością i kontaktem z fazą gazową; w powłokach lub hydrożelach — z dyfuzją przez strukturę materiału. Właśnie dlatego immobilizacja oksydazy glukozowej jest tak intensywnie badana: nośnik może stabilizować enzym, ale jednocześnie zmieniać dyfuzję substratów i produktów [6].



**Figure 2.** 산업용 포도당 산화효소 공정은 식품 및 진단 분야에서 산소 제거 또는 산화 효과를 얻기 위해 제어된 투입과 통기를 결합한다.

Trzecim czynnikiem jest los nadtlenu wodoru.  $H_2O_2$  może być pożądanym produktem reakcji, gdy celem jest sieciowanie składników ciasta, efekt przeciwdrobnoustrojowy lub sprzężenie z peroksydazą. Może też być produktem, którego nadmiar trzeba ograniczać, jeśli matryca jest wrażliwa na utlenianie. Systemy dwuenzymowe GOx–peroksydaza chrzanowa są badane właśnie dlatego, że GOx może dostarczać  $H_2O_2$  w sposób ciągły, a peroksydaza zużywa go w dalszej reakcji <sup>[7]</sup>.

Czwartym czynnikiem jest pH i skład matrycy. Badania nad zależną od pH aktywnością GOx pokazują, że zmiany protonowania reszt aminokwasowych i elementów miejsca aktywnego mogą zmieniać przebieg reakcji. W przetwórstwie żywności dodatkowo znaczenie mają polifenole, składniki termicznie przekształcone, sole, białka i polisacharydy; prace dotyczące puree brzoskwiniowego wskazują, że składniki powstające podczas obróbki cieplnej mogą oddziaływać z oksydazą glukozową i modyfikować jej zachowanie w produkcji <sup>[8]</sup>.

## Główne zastosowania przemysłowe Glucose Oxidase

---

### **Piekarnictwo: wzmacnianie struktury ciasta przez kontrolowane $H_2O_2$**

W piekarnictwie GOx jest ceniona dlatego, że nie tylko zużywa glukozę i tlen, lecz przede wszystkim generuje nadtlenek wodoru w obrębie matrycy ciasta.  $H_2O_2$  może uczestniczyć w reakcjach utleniających prowadzących do wzmocnienia sieci białkowej i polisacharydowej, co przekłada się na lepszą tolerancję ciasta na obróbkę mechaniczną, stabilniejszą strukturę i bardziej przewidywalne właściwości wypieku. Mechanizm jest pośredni: enzym nie „buduje” glutenu, lecz zmienia warunki redoks, w których białka i składniki ścian komórkowych mąki tworzą strukturę <sup>[7]</sup>.

Efekt zależy od receptury, typu mąki, zawartości cukrów fermentujących, czasu mieszania, dostępności tlenu i przebiegu fermentacji. Zbyt mała dostępność tlenu ograniczy produkcję  $H_2O_2$ , a nadmierne lub źle kontrolowane utlenianie może prowadzić do niepożądanych zmian tekstury. Dlatego w technologii piekarskiej GOx należy traktować jako enzym procesowy, którego działanie wynika z równowagi między napowietrzeniem, czasem kontaktu i składem surowców, a nie jako uniwersalny wzmacniacz działający jednakowo w każdej recepturze.



**Figure 3.** 포도당 산화효소는 제빵, 산소 제거, 달걀의 당 제거, 항균 시스템, 바이오센서 및 일부 발효 공정에 사용된다.

### Żywność i napoje: redukcja tlenu oraz stabilizacja jakości

W sokach, napojach, półproduktach owocowych i innych matrycach spożywczych obecność tlenu może sprzyjać reakcjom utleniania barwników, aromatów i składników wrażliwych. Glucose oxidase może ograniczać dostępność tlenu wtedy, gdy w produkcie znajduje się glukoza i warunki pozwalają na kontakt enzymu z tlenem rozpuszczonym. Nie jest to bariera fizyczna ani klasyczny przeciwutleniacz, lecz enzymatyczne przekształcenie tlenu w  $H_2O_2$  sprzężone z utlenianiem glukozy.

W produktach owocowych ważne są także interakcje z naturalnymi lub przetworzonymi składnikami matrycy. Badania nad oddziaływaniem oksydazy glukozy ze składnikami powstającymi podczas obróbki termicznej puree brzoskwiniowego pokazują, że realna żywność nie jest prostym roztworem glukozy: zawiera cząsteczki, które mogą wpływać na strukturę, aktywność i stabilność enzymu <sup>[8]</sup>. To istotne przy interpretacji wyników — dane z modelowego roztworu nie zawsze przenoszą się bezpośrednio na produkt zawierający pektyny, polifenole i produkty reakcji termicznych.

### Usuwanie glukozy z wybranych surowców

Oksydaza glukozy jest użyteczna tam, gdzie glukoza jest niepożądanym substratem dalszych reakcji. Typowa logika procesu jest prosta: enzym przekształca glukozę w produkt glukonowy, zmniejszając jej udział w reakcjach zależnych od cukrów redukujących. Zastosowanie to jest szczególnie interesujące w surowcach, w których obecność glukozy może pogarszać stabilność barwy, aromatu lub właściwości przechowalniczych.

Należy jednak rozróżnić „usunięcie glukozy” od ogólnego obniżenia słodczy lub całkowitej zawartości węglowodanów. GOx nie rozkłada sacharozy, skrobi ani wszystkich cukrów obecnych w produkcie; działa na glukozę. Jeżeli matryca zawiera głównie inne węglowodany, efekt będzie zależał od tego, czy glukoza jest w niej dostępna lub czy może powstawać w wyniku innych etapów procesu.

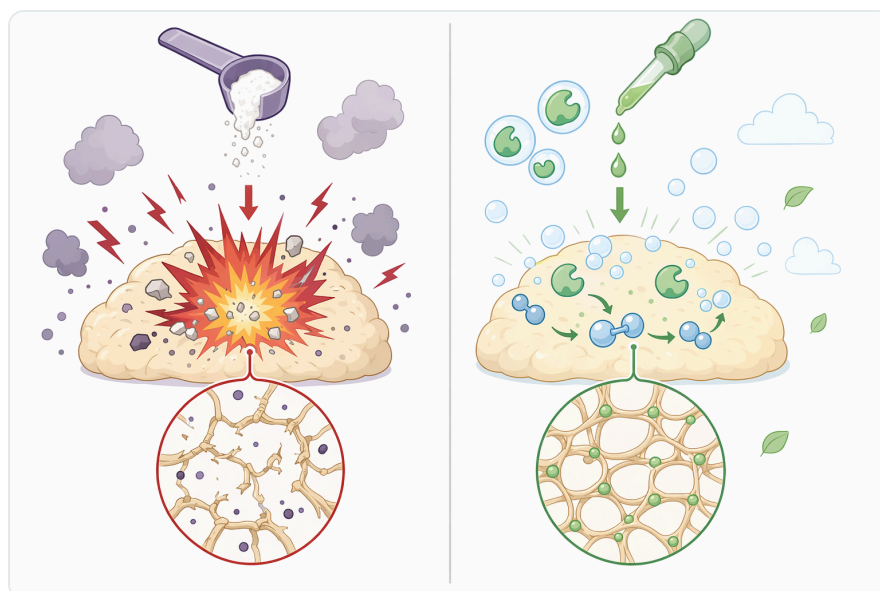


Figure 4. 반죽 강화에서 포도당 산화효소는 과산화수소를 현장에서 생성함으로써 기존 화학 산화제를 대체하거나 사용량을 줄일 수 있다.

### Pasze: enzym redoks jako element wsparcia funkcji jelit

W paszach GOx jest badana jako dodatek funkcjonalny, którego potencjalne działanie wynika z lokalnego wpływu na tlen, glukozę, produkty glukonowe i nadtlenek wodoru. W literaturze pojawia się kierunek zastosowań związany z mikrobiotą jelitową, stresem oksydacyjnym i barierą jelitową, ale efekty nie powinny być interpretowane w oderwaniu od gatunku zwierząt, receptury, stabilności enzymu w granulacji lub mieszance oraz warunków chowu. Produkt enzymatyczny nie zastępuje prawidłowego żywienia, higieny ani zgodności z przepisami dotyczącymi stosowania dodatków paszowych.

W praktyce paszowej kluczowe jest to, że GOx może działać tylko wtedy, gdy przetrwa proces przygotowania paszy i zachowa kontakt z substratami w miejscu działania. Temperatura, wilgotność, czas przechowywania i interakcje ze składnikami mineralnymi lub organicznymi mogą ograniczać aktywność enzymów. Z tego powodu zastosowania paszowe należy oceniać w kontekście konkretnej formulacji, a nie wyłącznie na podstawie mechanizmu reakcji.

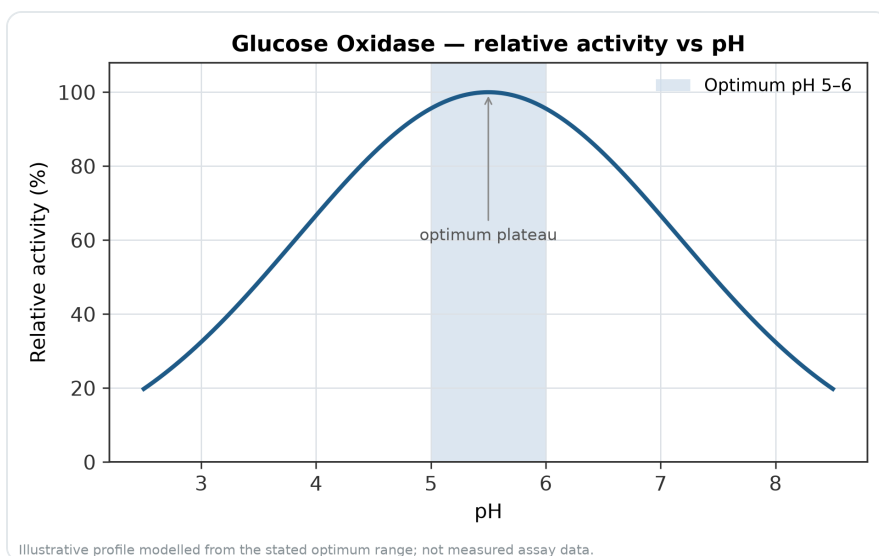
## Biosensory: specyficzność wobec glukozy i transfer elektronów

GOx jest jednym z klasycznych enzymów stosowanych w biosensorach glukozy, ponieważ jej reakcja jest sprzężona z przepływem elektronów i wytwarzaniem mierzalnych produktów. W czujnikach enzym może być immobilizowany na elektrodzie, w hydrożelu, matrycy polimerowej lub strukturze porowatej, a sygnał pomiarowy może wynikać z  $H_2O_2$ , zużycia tlenu albo pracy mediatora redoks. Badania nad wykrywaniem glukozy w ślinie z wykorzystaniem oksydazy glukozowej i mikroelektrod międzypalcowych pokazują, że GOx pozostaje aktualnym narzędziem w rozwoju nieinwazyjnych sensorów [9].

Jednocześnie biosensor nie jest po prostu „enzymem plus elektroda”. Stabilność sygnału zależy od immobilizacji, dyfuzji glukozy, dostępności tlenu, zakłóceń elektrochemicznych, pH próbki i trwałości warstwy enzymatycznej. Prace nad bioanodami polimer/GOx tolerującymi tlen pokazują, że projektowanie układu wymaga kontroli przenoszenia elektronów i kompatybilności enzymu z materiałem przewodzącym [10].

## Systemy wieloenzymatyczne i reakcje kaskadowe

Oksydaza glukozowa jest często używana jako element kaskad enzymatycznych, ponieważ może dostarczać  $H_2O_2$  w sposób sprzężony ze zużyciem glukozy. W układach GOx-HRP nadtlenek wodoru generowany przez GOx zasila reakcje katalizowane przez peroksydazę, co pozwala prowadzić procesy utleniające bez jednorazowego dodawania dużej porcji  $H_2O_2$ . Badania nad systemem HRP i GOX wskazują na znaczenie kontrolowanego, zrównoważonego uwalniania  $H_2O_2$  dla pożądanego mechanizmu reakcji dwusubstratowej [7].



**Figure 5.** pH에 따른 포도당 산화효소의 상대 활성으로, pH 5~6에서 최적 활성 구간이 나타난다.

Podobna logika występuje w biosensorach wieloenzymatycznych. Przykładem są układy łączące  $\beta$ -glukozydazę, GOx i HRP do oznaczania amigdaliny: pierwszy enzym uwalnia glukozę z analitu, GOx przekształca glukozę, a HRP wykorzystuje  $H_2O_2$  do wygenerowania sygnału [11]. Takie układy pokazują, że glucose oxidase bywa nie tylko enzymem „docelowym”, lecz także modułem pośrednim przekształcającym informację chemiczną w produkt możliwy do detekcji.

## Porównanie zastosowań GOx w różnych branżach

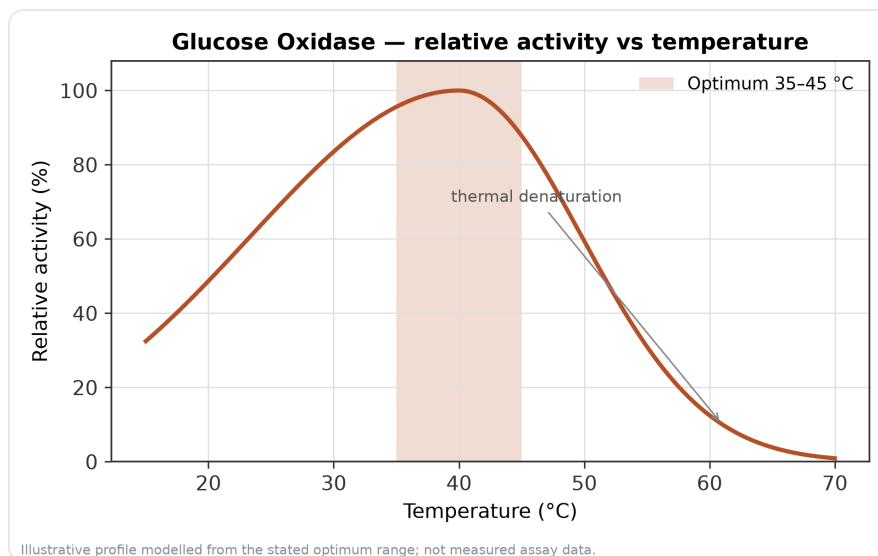
Obszar zastosowania	Główny cel technologiczny	Co robi GOx w matrycy?	Kluczowe ograniczenie praktyczne	Charakter dowodów
Piekarnictwo	Poprawa struktury i tolerancji ciasta	Wytwarza $H_2O_2$ , który wspiera reakcje utleniające składników strukturalnych	Zależność od napowietrzenia, mąki, cukrów i czasu mieszania	Mechanizm dobrze uzasadniony przez chemię redoks i układy GOx- $H_2O_2$ [7]
Napoje i produkty owocowe	Ograniczenie tlenu i zmian oksydacyjnych	Zużywa tlen w obecności glukozy	Interakcje z polifenolami, pektynami i produktami obróbki cieplnej	Dane aplikacyjne są silnie zależne od matrycy [8]
Usuwanie glukozy	Redukcja udziału glukozy w reakcjach niepożądanych	Przekształca glukozę w produkt glukonowy	Działa tylko na glukozę dostępną dla enzymu	Mechanizm stechiometryczny jest dobrze określony [4]
Pasze	Wsparcie funkcjonalne środowiska przewodu pokarmowego	Może lokalnie wpływać na tlen, $H_2O_2$ i produkty glukonowe	Stabilność w paszy i zgodność z regulacjami	Efekty zależą od gatunku, formulacji i warunków użycia
Biosensory	Detekcja glukozy lub związków uwalniających glukozę	Przekształca stężenie glukozy w sygnał redoks	Immobilizacja i transfer elektronów	Bardzo rozwinięty obszar projektowania materiałów i elektrod [9]
Kaskady enzymatyczne	Kontrolowane generowanie $H_2O_2$ dla kolejnej reakcji	Dostarcza $H_2O_2$ peroksydazie lub innemu modułowi	Bilans szybkości między enzymami	Dobrze opisane w układach GOx-HRP [11]

## Immobilizacja: stabilność, odzysk i kontrola mikrośrodowiska

Immobilizacja GOx polega na związaniu, uwięzieniu lub osadzeniu enzymu w materiale nośnikowym. Celem może być zwiększenie stabilności, łatwiejsze oddzielenie biokatalizatora od produktu, poprawa trwałości w biosensorze albo lepsza kontrola lokalnej dyfuzji glukozy, tlenu i  $H_2O_2$ . Przeglądy dotyczące immobilizacji oksydazy glukozy podkreślają, że nie istnieje jeden uniwersalny nośnik: wybór zależy od tego, czy priorytetem jest aktywność, trwałość, biokompatybilność, przewodnictwo, separowalność czy odporność mechaniczna [6].

Badania nad hydrożelami poliakryloamidowo-akryłowymi z uwięzioną GOx z *Aspergillus niger* pokazują kierunek zwiększania stabilności i użyteczności katalitycznej w zastosowaniach przemysłowych [12]. Hydrożele są atrakcyjne, ponieważ mogą zatrzymywać enzym w sieci polimerowej, a jednocześnie przepuszczać małe cząsteczki, takie jak glukoza i tlen. Ich ograniczeniem jest jednak dyfuzja: zbyt gęsta sieć może stabilizować białko, ale hamować dopływ substratów lub odpływ produktów.

Innym podejściem są materiały magnetycznie separowalne, w których GOx jest immobilizowana na cząstkach możliwych do odzysku z układu za pomocą pola magnetycznego. Taki projekt jest interesujący w procesach okresowych, gdzie odzysk biokatalizatora może zmniejszać straty enzymu i ograniczać obecność białka w produkcie końcowym [13]. Zastosowanie takich systemów wymaga jednak oceny kompatybilności nośnika z matrycą oraz stabilności wiązania enzymu.



**Figure 6.** 온도에 따른 포도당 산화효소의 상대 활성으로, 35~45°C에서 최적 활성을 보이며 최적 온도를 넘으면 열 변성으로 인해 활성이 특징적으로 감소한다.

Rozwijane są również struktury hybrydowe i nanomateriały. Prace nad miedziano-2-metyloimidazolowymi „nanokwiatami” pokazują jednoczesną stabilizację GOx i aktywację funkcji nanozymatycznych w katalizie tandemowej [14]. Z kolei fotochemicznie sieciowane hydrożele zbudowane z samej oksydazy glukozowej pokazują, jak daleko poszły badania nad materiałami, w których enzym nie jest jedynie dodatkiem, ale częścią struktury funkcjonalnej [15].

## **GOx w biomedycynie: ważny kierunek badań, ale nie proste przełożenie na przemysł spożywczy**

---

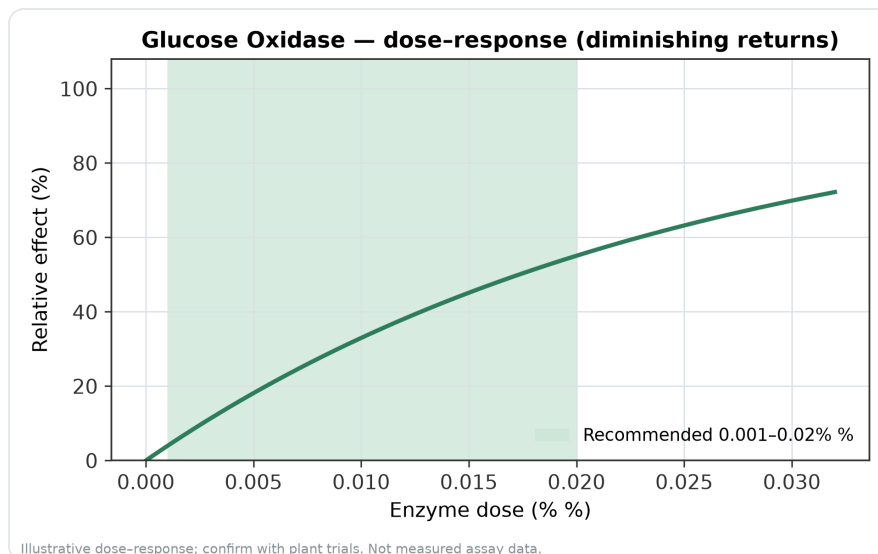
W ostatnich latach oksydaza glukozowa jest intensywnie badana w kontekście ran cukrzycowych, infekcji i terapii opartych na lokalnej modulacji glukozy, tlenu oraz stresu oksydacyjnego. Przegląd z 2024 roku opisuje GOx jako wielowymiarową opcję w leczeniu ran cukrzycowych, ponieważ enzym może wpływać na mikrośrodowisko rany przez zużycie glukozy i generowanie  $H_2O_2$  [16]. Prace nad układami z centrami osmu i aktywnościami enzymatycznymi pokazują jeszcze bardziej zaawansowane podejście do zakażonych ran cukrzycowych [17].

Te wyniki są naukowo istotne, ale nie powinny być bezpośrednio przenoszone na standardowe zastosowania B2B w żywności, paszach lub procesach przemysłowych. Materiały biomedyczne zwykle mają własną architekturę, dawkę miejscową, nośnik, warunki sterylności i regulacje. W praktyce oznacza to, że badania nad ranami potwierdzają potencjał biologiczny GOx, lecz nie stanowią automatycznego dowodu skuteczności dowolnego preparatu oksydazy glukozowej w dowolnej matrycy technologicznej.

## **Bezpieczeństwo technologiczne i ograniczenia interpretacyjne**

---

Najważniejszym ograniczeniem GOx jest to, że enzym działa w oparciu o konkretną chemię. Jeżeli celem jest wyłącznie redukcja tlenu, trzeba uwzględnić powstawanie  $H_2O_2$  i produktu glukonowego. Jeżeli celem jest generowanie  $H_2O_2$ , trzeba zapewnić glukozę i tlen. Jeżeli celem jest usuwanie glukozy, trzeba ocenić, czy produkt toleruje powiązane zmiany redoks i kwasowości. Ten sam mechanizm, który jest korzyścią w jednej aplikacji, może być ograniczeniem w innej.



**Figure 7.** 권장 사용 범위(0.001~0.02%)에서 포도당 산화효소의 예시적 용량-반응 관계.

Drugim ograniczeniem jest stabilność białka. Enzymy są wrażliwe na temperaturę, ekstremalne pH, długą ekspozycję na niekorzystne środowisko, niektóre związki powierzchniowo czynne, proteazy i składniki mogące denaturować białko. Badania nad materiałami do immobilizacji GOx, w tym układami organokrzemowymi ze środkami kontrolującymi strukturę, pokazują, że stabilność enzymu jest jednym z głównych powodów projektowania zaawansowanych nośników [18].

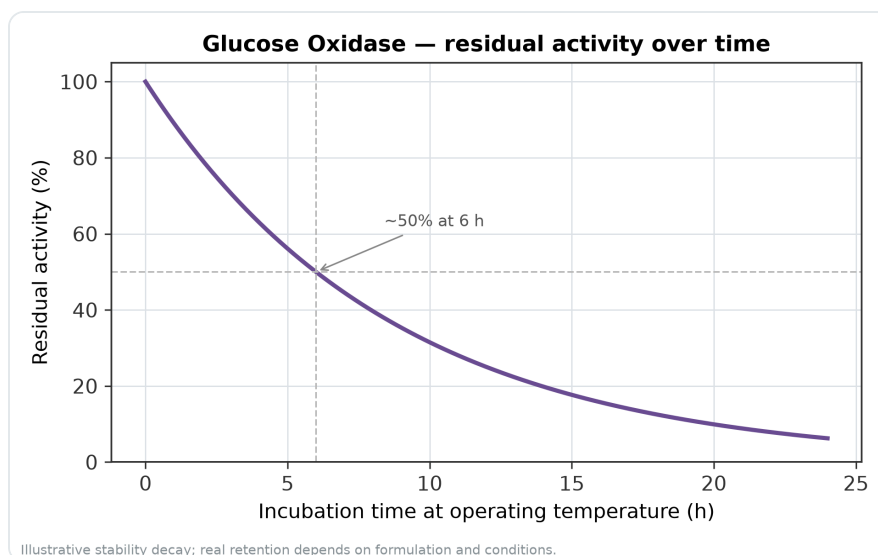
Trzecim ograniczeniem jest nadmierne uproszczenie roli  $H_2O_2$ . Nadtlenek wodoru może wspierać sieciowanie, działać przeciwdrobnoustrojowo lub zasilać peroksydazę, ale może też utleniać wrażliwe składniki produktu. Dlatego w wielu zastosowaniach bardziej poprawne jest mówienie o „kontrolowanym wytwarzaniu  $H_2O_2$ ” niż o samej „aktywności przeciwutleniającej” albo „konserwującej”. GOx nie jest uniwersalnym konserwantem; jest enzymem, którego skutek zależy od bilansu reakcji.

## Jak rozumieć dobór GOx do procesu B2B?

Dobór oksydazy glukozowej powinien zaczynać się od celu technologicznego. Jeśli problemem jest tlen, GOx ma sens tylko wtedy, gdy w układzie znajduje się dostępna glukoza. Jeśli problemem jest glukoza, trzeba zaakceptować powstanie produktu glukonowego i  $H_2O_2$  albo przewidzieć dalsze reakcje, które ograniczą nadtlenek wodoru. Jeśli celem jest biosensor, najważniejsza staje się immobilizacja i transfer elektronów, a nie tylko sama reakcja enzymatyczna.

Warto również rozróżniać zastosowania „wolnego” enzymu od systemów immobilizowanych. Proszek lub roztwór enzymatyczny wprowadza GOx bezpośrednio do matrycy, gdzie enzym działa do momentu dezaktywacji, zużycia substratu lub zakończenia procesu. Immobilizowany biokatalizator działa w

bardziej zdefiniowanym mikrośrodowisku, może być oddzielany lub integrowany z urządzeniem, ale wymaga materiału nośnikowego i kontroli dyfuzji. Przeglądy zastosowań i modyfikacji GOx wskazują, że rozwój tej klasy enzymów przesuwają się właśnie w stronę dopasowania struktury enzymu i nośnika do konkretnej funkcji [1].



**Figure 8.** 작동 온도에서 시간이 지남에 따라 잔존 활성이 감소하는 포도당 산화 효소의 예시적 열 안정성 저하.

W procesach żywnościowych lub paszowych praktyczna ocena powinna obejmować realną matrycę, a nie wyłącznie roztwór modelowy. Lepkość, aktywność wody, obecność białek, tłuszczów, soli, polifenoli i innych enzymów może zmieniać szybkość reakcji. W sensorach i bioelektrodach również istotna jest architektura powierzchni, bo enzym musi jednocześnie utrzymać aktywność biologiczną i skutecznie komunikować się z układem pomiarowym.

## Informacja o dostępności przez Enzymes.bio

Enzymes.bio udostępnia Glucose Oxidase jako produkt dla klientów B2B poprzez sprzedaż online w jednostkach 1 kg. Firma pełni rolę dostawcy, a nie producenta enzymu ani laboratorium badawczego; dokumentacja CoA i SDS jest dostarczana wraz z zamówieniem. Informacje produktowe i kategoria glucose oxidase są dostępne w sklepie Enzymes.bio, co pozwala użytkownikowi dopasować zakup do własnego zastosowania procesowego .

Najbardziej odpowiedzialne podejście do GOx polega na traktowaniu jej jako precyzyjnego narzędzia redoks, a nie uniwersalnego dodatku. Gdy proces wymaga redukcji glukozy, zużycia tlenu lub lokalnego generowania  $H_2O_2$ , oksydaza glukozy może być technologicznie bardzo użyteczna. Gdy jednak brakuje glukozy, tlenu albo kontroli nad skutkami powstawania nadtlenku wodoru, efekt enzymu będzie ograniczony lub wymagać będzie dodatkowego zaprojektowania procesu.

## Zamów Glucose Oxidase 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 Glucose Oxidase →](#)

## Bibliografia

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

1. Li, Z., Chen, Y., Chen, X., Guo, Z., Guan, G., Feng, Y., & Chen, H. (2025). Modification and applications of glucose oxidase: optimization strategies and high-throughput screening technologies. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 41.
2. Maye, M., Abah, M., Ayo, G. F., Rejoice, J., Gbadebo, A. M., Nuhu, O. O., Oladosu, M., ... et al. (2024). Production of glucose oxidase from *Aspergillus Niger* using yam peels as carbon source. *International Journal of Molecular Biology Open Access*.
3. Zhou, H., Zhang, W., & Qian, J. (2023). Hypersecretory production of glucose oxidase in *Pichia pastoris* through combinatorial engineering of protein properties, synthesis, and secretion. *Biotechnology and Bioengineering*, 121, 735 - 748.
4. Tu, T., Zhang, Y., Yan, Y., Li, L., Liu, X., Hakulinen, N., Zhang, W., ... et al. (2024). Revealing the intricate mechanism governing the pH-dependent activity of a quintessential representative of flavoproteins, glucose oxidase. *Fundamental Research*, 6, 919 - 928.
5. Ostafe, R., Fontaine, N., Frank, D., Chong, M. N. F., Prodanović, R., Pandjaitan, R., Offman, B., ... et al. (2020). One-shot optimization of multiple enzyme parameters: Tailoring glucose oxidase for pH and electron mediators. *Biotechnology and Bioengineering*, 117, 17 - 29.
6. Rajendran, D., Sethi, P., Venkataraman, S., & Vaidyanathan, V. (2026). Immobilization of glucose oxidase for various industrial applications: advances, challenges, and future perspective towards sustainable development goals. *Environmental Technology Reviews*.
7. Liu, X., Zhang, Q., Li, M., Qin, S., Zhao, Z., Lin, B., Ding, Y., ... et al. (2023). Horseradish peroxidase (HRP) and glucose oxidase (GOX) based dual-enzyme system: Sustainable release of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and its effect on the desirable ping pong bibi degradation mechanism. *Environmental Research*, 115979 .
8. Liu, G., Bi, J., Gou, M., & Chen, Q. (2025). Potential interaction mechanism of glucose oxidase and cooked-induced components of peach puree during thermal processing. *Food Research International*, 221 Pt 4, 117541 .
9. Adib, M., Barrett, C., Kennedy, E., & O'Riordan, A. (2024). Development of a Highly Sensitive Electrochemical Detection of Salivary Glucose and pH Sensors Based on Glucose Oxidase Using Interdigitated Microelectrodes. *ECS Meeting*

## Abstracts.

10. Lopez, F., Zerria, S., Ruff, A., & Schuhmann, W. (2018). An O<sub>2</sub> Tolerant Polymer/Glucose Oxidase Based Bioanode as Basis for a Self-powered Glucose Sensor. *Electroanalysis*, 30, 1311-1318.
11. Liu, S., Chao, H., He, D., Wang, Y., & Yang, Y. (2025). Biomimetic co-immobilization of  $\beta$ -glucosidase, glucose oxidase, and horseradish peroxidase to construct a multi-enzyme biosensor for determination of amygdalin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139868 .
12. Rukhma, Ali, S., Jahangeer, M., Rehman, M., Liyaqat, I., & Qamar, S. (2024). Entrapment of glucose oxidase from *Aspergillus niger* ISL-09 in poly (acrylamide-co-acrylic acid) hydrogels for improved stability and catalytic efficiency towards industrial applications. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*.
13. Sulman, A. (2019). THE DESIGN OF MAGNETICALLY SEPARABLE BIOCATALYST ON THE BASIS OF GLUCOSE OXIDASE. *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2019, Energy and Clean Technologies*.
14. Kim, D., Kim, B. C., & Hwang, E. (2025). Double crystallization-driven copper-2-methylimidazole nanoflowers: Stabilizing glucose oxidase and activating nanozyme functions for tandem catalysis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 144341 .
15. Laurent, H., Brockwell, D., & Dougan, L. (2025). Nanomachine Networks: Functional All-Enzyme Hydrogels from Photochemical Cross-Linking of Glucose Oxidase. *Biomacromolecules*, 26, 1195 - 1206.
16. Liao, Y., Zhang, Z., Zhao, Y., Zhang, S., Zha, K., Ouyang, L., Hu, W., ... et al. (2024). Glucose oxidase: An emerging multidimensional treatment option for diabetic wound healing. *Bioactive Materials*, 44, 131 - 151.
17. He, S., Lin, M., Zheng, Q., Liang, B., He, X., Zhang, Y., Xu, Q., ... et al. (2024). Glucose Oxidase Energized Osmium with Dual-Active Centers and Triple Enzyme Activities for Infected Diabetic Wound Management. *Advanced Healthcare Materials*, 13.
18. Lantsova, E., Kamanina, O., Rybochkin, P., & Saverina, E. (2024). Organosilicon Material in Combination with Structure-Controlling Agents as a Basis for Immobilization of the Enzyme Glucose Oxidase. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 1-6.

## 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