

# Alpha-Acetolactate Decarboxylase (ALDC) w browarnictwie: enzym do ograniczania diacetylu i skracania dojrzewania piwa

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

Alpha-Acetolactate Decarboxylase, czyli ALDC, jest enzymem stosowanym w piwowarstwie do ograniczania powstawania diacetylu — związku odpowiedzialnego za maślany, śmietankowy lub toffi-podobny aromat w piwie. Działa prewencyjnie: przekształca  $\alpha$ -acetomleczan, główny prekursor diacetylu, bezpośrednio w acetoinę, zanim prekursor zdąży chemicznie przejść w diacetyl. W praktyce ALDC pomaga browarom poprawić przewidywalność profilu sensorycznego i potencjalnie skrócić etap dojrzewania, szczególnie w lagerach oraz piwach szybko rotujących. <sup>[1]</sup>

Enzymes.bio dostarcza **Alpha-Acetolactate Decarboxylase For Brewing Industry** jako produkt dla zastosowań technologicznych w browarnictwie i napojach fermentowanych. Enzymes.bio jest dostawcą, nie producentem ani laboratorium badawczym; produkt jest dostępny bezpośrednio online w jednostkach **1 kg**, a dokumenty **CoA** i **SDS** są dostarczane wraz z zamówieniem.

## Czym jest Alpha-Acetolactate Decarboxylase For Brewing Industry?

Alpha-Acetolactate Decarboxylase, często skracana do **ALDC**, to enzym katalizujący dekarboksylację  $\alpha$ -acetomleczanu do acetoiny. W kontekście piwa znaczenie tej reakcji jest bardzo konkretne:  $\alpha$ -acetomleczan jest związkiem pośrednim, który poza komórką drożdżową może ulegać nieenzymatycznemu przekształceniu do diacetylu, a diacetyl należy do najbardziej problematycznych związków typu VDK, czyli vicinal diketones. Strukturalne badania nad acetolactate decarboxylase potwierdzają, że enzym jest wyspecjalizowany w kierowaniu  $\alpha$ -acetomleczanu na ścieżkę prowadzącą do acetoiny, a nie do diacetylu. <sup>[1]</sup>

W piwowarstwie ALDC jest traktowana jako **pomoc technologiczna do kontroli diacetylu**, nie jako substytut prawidłowej fermentacji. Jej zastosowanie jest najbardziej logiczne na etapie, gdy  $\alpha$ -acetomleczan dopiero powstaje i jest dostępny dla enzymu. Z tego powodu komercyjne opisy

preparatów ALDC dla browarnictwa akcentują użycie enzymu w fermentacji jako sposobu ograniczania tworzenia diacetylu u źródła, a nie jako późniejszej korekty gotowego piwa. [2]

Warto od razu rozdzielić dwa pojęcia: **redukcję diacetylu przez drożdże** i **zapobieganie jego tworzeniu przez ALDC**. W tradycyjnym procesie drożdże mogą z czasem zredukować diacetyl do mniej problematycznych sensorycznie związków, ale wymaga to odpowiedniej kondycji komórek, temperatury i czasu. ALDC skraca tę drogę technologicznie, ponieważ zmniejsza ilość prekursora dostępnego do powstania diacetylu.

## Problem technologiczny: skąd bierze się diacetyl w piwie?

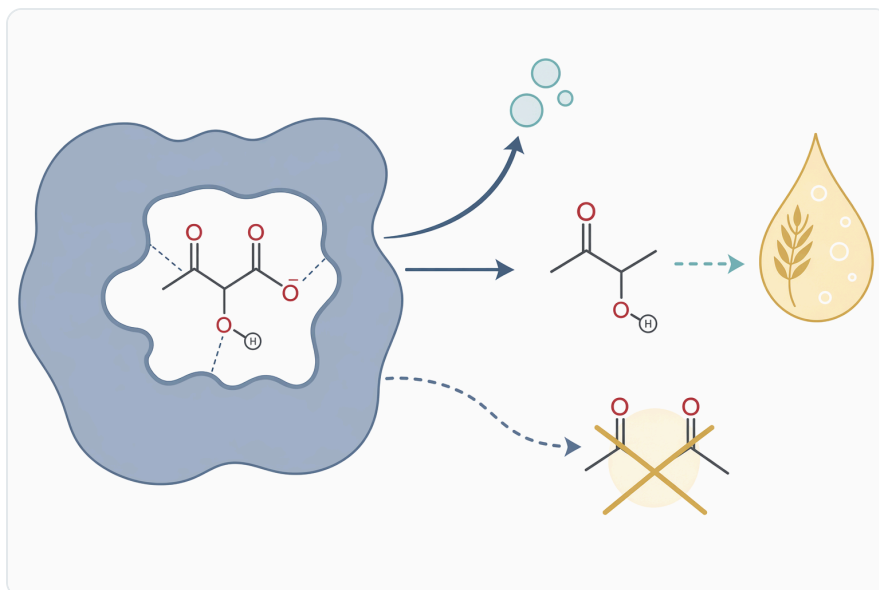
---

Diacetyl w piwie powstaje przede wszystkim z  $\alpha$ -acetoanilinu, który jest związany z metabolizmem aminokwasów rozgałęzionych, zwłaszcza waliny. Drożdże mogą wydzielać  $\alpha$ -acetoanilin do brzeczki lub młodego piwa; następnie związek ten ulega chemicznej, oksydacyjnej dekarboksylacji do diacetylu. Badania nad bakteriami mlekowymi pokazują tę samą zależność metaboliczną: zmiany w aktywności ALDC wpływają na bilans  $\alpha$ -acetoanilinu i diacetylu, co potwierdza centralną rolę tego prekursora w powstawaniu aromatów diacetylowych. [3]

W ujęciu browarniczym problem nie polega wyłącznie na tym, że diacetyl może się pojawić. Problemem jest również jego **zmiennosc w czasie**. Piwo, które na jednym etapie procesu wydaje się sensorycznie czyste, może nadal zawierać prekursor, który później przekształci się w diacetyl. Dlatego browary stosują testy wymuszonego diacetylu, odpowiednie harmonogramy restu diacetylowego i kontrolę dojrzewania. ALDC wpisuje się w tę logikę jako narzędzie ograniczające ilość prekursora, a więc zmniejszające ryzyko późniejszego wzrostu VDK.

Znaczenie diacetylu jest szczególnie duże w lagerach, piwach o czystym profilu fermentacyjnym oraz produktach o krótkim cyklu produkcyjnym. W stylach, w których oczekuje się neutralnego profilu drożdżowego, nawet umiarkowane nuty masła, śmietanki lub toffi mogą być odbierane jako wada. Branżowe materiały dotyczące ALDC podkreślają właśnie ten cel: ograniczenie tworzenia diacetylu i usprawnienie dojrzewania piwa bez konieczności czekania, aż drożdże zredukują już powstały związek.

[4]



**Figure 1.** ALDC는 알파-아세토락테이트를 아세토인으로 직접 전환하여, 향미에 영향을 주는 다이아세틸로 이어질 전구체의 흐름을 줄입니다.

## Mechanizm działania ALDC: co dokładnie dzieje się z $\alpha$ -acetomleczanem?

Mechanizm ALDC można przedstawić w prostym schemacie:  $\alpha$ -acetomleczan  $\rightarrow$  acetoina +  $\text{CO}_2$ . Bez ALDC  $\alpha$ -acetomleczan może przejść nieenzymatycznie w diacetyl; z ALDC jest kierowany do acetoiny. Acetoina jest związkiem należącym do tego samego obszaru metabolizmu fermentacyjnego, ale w typowych warunkach browarniczych jest znacznie mniej problematyczna sensorycznie niż diacetyl. Strukturalne analizy acetolactate decarboxylase pokazują, że enzym rozpoznaje substrat i katalizuje jego dekarboksylację w sposób bezpośrednio tłumaczący tę zmianę ścieżki reakcji. <sup>[1]</sup>

To, że ALDC działa na prekursor, ma kluczowe konsekwencje praktyczne. Enzym nie jest „środkiem do usuwania maślanego aromatu” z gotowego piwa. Jeśli diacetyl już powstał, ALDC nie przekształca go z powrotem w  $\alpha$ -acetomleczan ani nie zastępuje biologicznej redukcji przez aktywne drożdże. Jej siła polega na zmniejszeniu ilości  $\alpha$ -acetomleczanu, zanim chemia procesu doprowadzi do wytworzenia diacetylu.

Ten sam węzeł metaboliczny jest znany również poza piwowarstwem. W produkcji 2,3-butanodiolu  $\alpha$ -acetolactate synthase, ALDC i butanediol dehydrogenase tworzą sekwencję enzymatyczną prowadzącą od prekursorów pirogronianowych przez acetoinę do 2,3-butanodiolu. Pokazuje to, że ALDC jest częścią szerszej rozpoznanej biologicznej ścieżki przekształcania  $\alpha$ -acetomleczanu w acetoinę. <sup>[5]</sup>

## Dlaczego ALDC jest szczególnie przydatna w lagerach?

---

Lagery są klasycznym obszarem zastosowania ALDC, ponieważ ich produkcja często obejmuje niższe temperatury fermentacji i dłuższe dojrzewanie. Niższa temperatura spowalnia wiele procesów biochemicznych, w tym tempo redukcji diacetylu przez drożdże. Jeśli browar chce uzyskać czysty profil lagerowy, a jednocześnie utrzymać przewidywalny harmonogram tanków, kontrola prekursora diacetylu staje się istotnym punktem procesu.

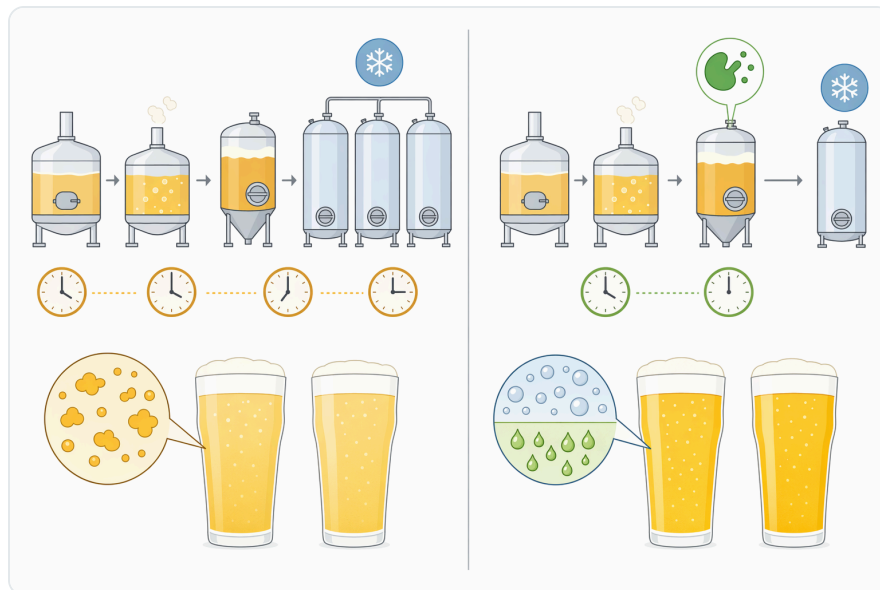
ALDC pomaga w lagerach nie dlatego, że „przyspiesza drożdże”, lecz dlatego, że zmienia dostępność substratu dla niepożądanej reakcji chemicznej. Mniejsza ilość  $\alpha$ -acetomleczanu oznacza mniejszy potencjał tworzenia diacetylu podczas dojrzewania. W literaturze technologicznej i patentowej już od lat opisywano drożdże piwowskie zawierające aktywność ALDC jako sposób na uzyskiwanie piwa o ograniczonej produkcji diacetylu, co pokazuje, że kierunek ten ma długą historię zastosowań procesowych. <sup>[6]</sup>

Dla browaru najważniejsza jest przewidywalność. Jeśli piwo wymaga długiego oczekiwania na spadek VDK, tank pozostaje zajęty, rośnie zapotrzebowanie na kontrolę temperatury, a plan rozlewu staje się mniej stabilny. ALDC może ograniczać ten bufor czasowy, ponieważ zmniejsza tworzenie diacetylu, zamiast opierać cały proces wyłącznie na późniejszej redukcji.

## Dowody naukowe: od genów ALDC po piwowskie zastosowania

---

Znaczenie ALDC w browarnictwie nie wynika wyłącznie z opisów handlowych. Już prace nad ekspresją genu  $\alpha$ -acetolactate decarboxylase z *Enterobacter aerogenes* w drożdżach piwowskich pokazały, że aktywność tego enzymu można wprowadzić do komórek drożdżowych, aby wpłynąć na metabolizm diacetylu podczas fermentacji. To ważny etap rozwoju technologii, ponieważ potwierdza, że sama obecność aktywności ALDC w środowisku fermentacji ma znaczenie praktyczne. <sup>[7]</sup>



**Figure 2.** 일반적인 다이아세틸 관리는 다이아세틸이 형성된 뒤 효모가 이를 환원하는 데 의존하지만, ALDC를 활용한 관리는 그보다 앞선 단계인 알파-아세토 락테이트에 작용합니다.

Kolejne prace rozwijały ten kierunek, wykorzystując drożdże piwarskie kodujące ALDC w procesach produkcji piwa, w tym w układach immobilizowanych. Immobilizacja drożdży jest osobnym podejściem procesowym, ale w tym kontekście istotne jest to, że aktywność ALDC była rozważana jako funkcjonalny element technologii fermentacyjnej, a nie wyłącznie jako ciekawostka biochemiczna. [8]

Innym nurtem były konstrukcje drożdży określane jako „diacetyl non-producing”, w których manipulowano ekspresją ALDC w szczepach piwarskich. Prace z użyciem zmodyfikowanego promotora ADH1 pokazują, że ograniczanie produkcji diacetylu przez ukierunkowaną aktywność ALDC było przedmiotem badań już w latach 90. XX wieku. [9]

Równie istotne są badania negatywne lub porównawcze, w których brak aktywności ALDC prowadzi do przesunięć w produkcji  $\alpha$ -acetomleczanu i diacetylu. Mutanty pozbawione ALDC u *Streptococcus thermophilus* potwierdzają, że enzym ten wpływa na metabolizm związków bezpośrednio powiązanych z aromatem diacetylowym, nawet jeśli sam organizm nie jest drożdżem piwarskim. [10]

## ALDC jako narzędzie prewencyjne, nie naprawcze

Najczęstsze nieporozumienie dotyczące ALDC polega na traktowaniu jej jak dodatku, który można zastosować pod koniec procesu, gdy piwo ma już wyczuwalny diacetyl. Taki model jest biochemicznie błędny. ALDC działa na  $\alpha$ -acetomleczan, a nie na diacetyl. Jeżeli diacetyl już powstał, jego dalsze obniżenie zależy przede wszystkim od aktywności drożdży, czasu, temperatury i ogólnego stanu fermentacji.

Z tego powodu praktyczne zastosowanie ALDC zwykle wiąże się z wczesną fazą fermentacji. Wtedy drożdże dopiero wytwarzają i wydzielają  $\alpha$ -acetomleczan, a enzym może przechwycić ten prekursor, zanim przejdzie w diacetyl. Komercyjne materiały dla browarów opisują ALDC właśnie jako enzym zapobiegający powstawaniu diacetylu poprzez przekształcanie jego prekursora w acetoinę. [2]

Oznacza to również, że ALDC nie zastępuje higieny, zdrowych drożdży ani poprawnego prowadzenia fermentacji. Diacetyl może być związany nie tylko z naturalnym metabolizmem drożdży, ale też z problemami mikrobiologicznymi lub nieprawidłowym zarządzaniem fermentacją. Enzym zmniejsza ryzyko związane z jednym mechanizmem — dostępnością  $\alpha$ -acetomleczanu — ale nie usuwa przyczyn takich jak infekcja czy słaba kondycja drożdży.

## Czynniki procesowe wpływające na skuteczność ALDC

Jak każdy enzym stosowany w żywności, ALDC działa w określonych warunkach środowiskowych. Temperatura, pH, czas kontaktu z substratem, skład matrycy i obecność etanolu mogą wpływać na obserwowany efekt technologiczny. Ogólne przeglądy dotyczące enzymów w przemyśle spożywczym podkreślają, że skuteczność enzymów zależy od dopasowania warunków procesu do właściwości biokatalizatora. [11]



**Figure 3.** ALDC는 알파-아세토락테이트가 생성되는 동안 작용할 수 있도록 냉각된 워트 이송, 효모 접종 또는 발효 초기 단계에 투입하는 것이 가장 적합합니다.

W przypadku piwa szczególnie istotne jest pH. Fermentująca brzeczka stopniowo się zakwasza, a późniejsze etapy procesu mogą być mniej korzystne dla części aktywności enzymatycznych. Nie jest przypadkiem, że badania inżynierii białek ALDC obejmowały poprawę stabilności kwasowej enzymu, co

pokazuje technologiczne znaczenie pracy w środowisku o niższym pH. [12]

Drugim czynnikiem jest moment dodania. Jeśli enzym pojawia się zbyt późno, część  $\alpha$ -acetomleczanu mogła już przekształcić się w diacetyl. Dlatego w zastosowaniach browarniczych ALDC jest zwykle rozumiana jako narzędzie wczesnej kontroli fermentacji, a nie końcowy dodatek korekcyjny. Branżowe opisy produktów ALDC akcentują właśnie dodanie w fazie fermentacji, kiedy prekursor diacetylu jest obecny i może zostać przekształcony w acetoinę. [4]

Trzecim elementem jest styl piwa i profil procesu. Piwa mocno chmielone, piwa o krótkim cyklu produkcyjnym, lagery oraz napoje fermentowane o bardzo czystym profilu sensorycznym mogą szczególnie korzystać z ograniczenia ryzyka VDK. W piwach, w których niewielka nuta diacetylowa jest stylistycznie tolerowana lub pożądana, decyzja technologiczna może być inna.

## Porównanie strategii kontroli diacetylu w browarze

| Strategia                            | Punkt działania  | Główna zaleta   | Główne ograniczenie  | Typowy kontekst użycia  |
|--------------------------------------|--|---|--|---|
| Klasyczny rest diacetylowy           | Redukcja diacetylu przez aktywne drożdże po jego powstaniu                     | Nie wymaga dodatkowej aktywności enzymatycznej; opiera się na naturalnym metabolizmie drożdży | Wymaga czasu, odpowiedniej kondycji drożdży i kontroli temperatury       | Lagery, piwa dolnej fermentacji, partie z podwyższonym ryzykiem VDK       |
| Egzogenna ALDC                       | Przekształcenie $\alpha$ -acetomleczanu do acetoiny przed powstaniem diacetylu | Działa prewencyjnie i może skracać zależność od długiego dojrzewania                          | Nie usuwa diacetylu już obecnego w piwie; zależy od warunków procesu     | Browary dążące do czystego profilu i przewidywalnego czasu tanków [2]     |
| Drożdże z aktywnością ALDC           | Wprowadzenie aktywności ALDC bezpośrednio do układu fermentacyjnego            | Enzymatyczna kontrola prekursora może zachodzić blisko metabolizmu komórki                    | Wymaga zastosowania odpowiednich szczepów i akceptacji danej technologii | Badania nad drożdżami piwowarskimi o ograniczonej produkcji diacetylu [7] |
| Drożdże immobilizowane kodujące ALDC | Połączenie immobilizacji komórek z aktywnością ALDC                            | Interesujące dla procesów intensyfikowanych lub specjalnych układów fermentacji               | Bardziej złożone wdrożenie niż standardowa fermentacja                   | Rozwiązania badawcze i procesowe dla piwowarstwa [8]                      |

Tabela pokazuje, że ALDC nie konkuruje bezpośrednio z każdą metodą kontroli diacetylu. Jest raczej narzędziem do przesunięcia problemu „w górę procesu”: zamiast usuwać diacetyl po jego powstaniu, ogranicza tworzenie prekursora prowadzącego do diacetylu.

## Zastosowania ALDC w praktyce browarniczej

### Lagery i piwa o czystym profilu fermentacyjnym

Najbardziej oczywistym zastosowaniem ALDC są lagery, pilsnery, hellesy i inne piwa, w których oczekuje się czystego profilu drożdżowego. W tych stylach diacetyl jest łatwo zauważalny, ponieważ nie jest maskowany przez intensywne estry, fenole lub dodatki smakowe. ALDC pomaga ograniczyć ryzyko, że piwo będzie wymagało wydłużonego dojrzewania wyłącznie z powodu VDK.

W praktyce technologicznej korzyścią nie jest tylko potencjalne skrócenie czasu. Równie ważna jest mniejsza zmienność między partiami. Jeśli aktywność drożdży, temperatura fermentacji lub skład brzezki zmieniają się w niewielkim zakresie, ilość wytwarzanego  $\alpha$ -acetomleczanu także może się różnić. ALDC działa na wspólny punkt tego ryzyka — dostępny prekursor diacetylu.

### Piwa szybko rotujące i produkcja o wysokim wykorzystaniu tanków

W browarach, w których ograniczeniem jest dostępność tanków fermentacyjnych lub leżakowych, każdy dzień procesu ma znaczenie. ALDC może wspierać planowanie produkcji, ponieważ zmniejsza zależność od długiego oczekiwania na naturalne obniżenie VDK. Materiały branżowe opisują ALDC jako narzędzie wspierające skrócenie dojrzewania i poprawę efektywności cyklu produkcyjnego. <sup>[4]</sup>



**Figure 4.** ALDC는 깔끔한 라거, 빠른 양조 일정, 고비중 발효, 재사용 효모 운용, 드라이홉 맥주, 섬세하고 중립적인 스타일에서 특히 유용하게 쓰입니다.

Nie należy jednak interpretować tego jako gwarancji identycznego skrócenia procesu w każdym browarze. Efekt zależy od szczepu drożdży, temperatury, składu brzeczki, natlenienia, pH, ekstraktu początkowego oraz sposobu prowadzenia fermentacji. ALDC ogranicza jeden krytyczny mechanizm, ale nie zastępuje kontroli procesu jako całości.

## **Piwa chmielone na zimno i ryzyko hop creep**

W piwach intensywnie chmielonych na zimno problem diacetylu może powracać po pozornie zakończonej fermentacji. Zjawisko hop creep wiąże się z enzymatyczną aktywnością pochodzącą z chmielu, która może uwalniać fermentowalne cukry i pobudzać wtórną aktywność drożdży. Jeśli w tym okresie powstaje nowy  $\alpha$ -acetomleczan, może później przejść w diacetyl.

ALDC bywa omawiana jako element ograniczania ryzyka diacetylu w takich piwach, zwłaszcza gdy jest używana w sposób zgodny z momentem powstawania prekursora. Należy jednak zachować ostrożność: późne chmielenie, spadające pH i zmieniające się warunki fermentacji mogą ograniczać przewidywalność efektu, dlatego ALDC nie powinna być traktowana jako jedyna kontrola hop creep. Przykłady branżowych testów piwarskich pokazują zainteresowanie tym zastosowaniem, ale nie zastępują walidacji w konkretnym procesie browaru. <sup>[13]</sup>

## **Inne napoje fermentowane**

Chociaż nazwa produktu odnosi się do branży piwarskiej, sama biochemia  $\alpha$ -acetomleczanu i diacetylu ma znaczenie także w innych fermentacjach. Tam, gdzie pożądanym jest czysty profil sensoryczny, a VDK są niepożądane, kontrola prekursora może być technologicznie istotna. Trzeba jednak pamiętać, że matryce napojów różnią się pH, alkoholem, składem odżywczym i mikrobiologią, więc przenoszenie wniosków z piwa wymaga ostrożności.

## **ALDC a nowoczesne technologie enzymatyczne w przemyśle spożywczym**

Zastosowanie ALDC wpisuje się w szerszy trend wykorzystywania enzymów jako narzędzi precyzyjnej kontroli procesu. Enzymy w przemyśle spożywczym są używane nie tylko do zwiększania wydajności, ale też do poprawy powtarzalności, modyfikowania profilu sensorycznego i ograniczania niepożądanych reakcji ubocznych. Przeglądy dotyczące enzymów spożywczych podkreślają, że ich wartość wynika z wysokiej swoistości katalitycznej — dokładnie tej cechy, która w przypadku ALDC pozwala działać na  $\alpha$ -acetomleczan. <sup>[11]</sup>

Równolegle rozwijają się technologie immobilizacji enzymów i komórek, które mają zwiększać stabilność biokatalizatorów, umożliwiać ich ponowne użycie lub ułatwiać prowadzenie procesów ciągłych. W browarnictwie podobne koncepcje pojawiają się przy różnych enzymach, nie tylko ALDC;

przykładem są prace nad immobilizowaną tannazą do hydrolizy fenoli aktywnych w tworzeniu zmętnienia. [14]

W przypadku ALDC interesujące są zarówno rozwiązania z dodanym enzymem, jak i szczepy drożdży zaprojektowane tak, aby same dostarczały aktywność ALDC. Technologie drożdżowe opisujące wewnątrzkomórkową kontrolę  $\alpha$ -acetomleczanu pokazują, że branża traktuje ten punkt metaboliczny jako ważny cel poprawy procesu. [15]



Figure 5. ALDC는 다이아세틸 형성을 줄여 숙성이 장기간의 후반 정리 단계에 덜 의존하도록 할 수 있습니다.

## Korzyści dla browaru: techniczne, nie marketingowe

Pierwszą korzyścią jest **ograniczenie ryzyka diacetylu u źródła**. Ponieważ ALDC zmniejsza pulę  $\alpha$ -acetomleczanu, ogranicza potencjał późniejszego tworzenia diacetylu. To podejście jest bardziej przewidywalne niż poleganie wyłącznie na tym, że drożdże zdążą zredukować diacetyl przed rozlewem.

Drugą korzyścią jest **potencjalne skrócenie dojrzewania**. Jeżeli mniej diacetylu powstaje w trakcie procesu, browar może ograniczyć czas potrzebny wyłącznie na jego redukcję. Nie oznacza to automatycznie skrócenia każdego piwa do minimalnego możliwego cyklu, ale może zmniejszyć liczbę dni buforowych wymaganych dla bezpieczeństwa sensorycznego.

Trzecią korzyścią jest **lepsze wykorzystanie tanków**. W produkcji, w której tanki są wąskim gardłem, nawet niewielkie skrócenie okresu oczekiwania na stabilny wynik VDK może mieć znaczenie operacyjne. Branżowe opisy ALDC wskazują właśnie na poprawę efektywności procesu dojrzewania jako jeden z głównych powodów stosowania enzymu w browarnictwie. [4]

Czwartą korzyścią jest **większa powtarzalność profilu sensorycznego**. Diacetyl jest problematyczny nie tylko dlatego, że może być wyczuwalny, ale dlatego, że jego poziom może zmieniać się po czasie, jeśli w piwie pozostał prekursor. ALDC zmniejsza to ryzyko, działając zanim niepożądany związek powstanie.

## Ograniczenia i realistyczne oczekiwania

ALDC nie rozwiązuje problemów wynikających ze złej higieny, zakażeń, niewłaściwego natlenienia, niedoborów odżywczych drożdży lub zbyt wczesnego oddzielenia piwa od biomasy drożdżowej. Jeżeli proces generuje diacetyl z powodu infekcji bakteryjnej albo drożdże są w słabej kondycji, sam enzym nie usunie przyczyny. Może ograniczyć powstawanie diacetylu z  $\alpha$ -acetomleczanu, ale nie zastąpi kontroli mikrobiologicznej i fermentacyjnej.

Drugie ograniczenie to brak działania na diacetyl już obecny. To krytyczne przy interpretacji wyników sensorycznych. Jeśli piwo ma wyraźny aromat masła, dodanie ALDC na późnym etapie nie jest równoważne restowi diacetylowemu. Enzym nie jest „neutralizatorem diacetylu”, lecz biokatalizatorem reakcji prekursora.

Trzecie ograniczenie dotyczy warunków środowiskowych. pH, temperatura, czas i skład piwa wpływają na aktywność oraz stabilność enzymów. Fakt, że prowadzono badania nad poprawą kwasowej stabilności ALDC, dobrze pokazuje, że środowisko fermentującego napoju jest wymagające dla tej klasy białek. <sup>[12]</sup>



Figure 6. ALDC는 알파-아세토락테이트를 대상으로 하는 예방적 관리 지점이며, 이미 축적된 다이아세틸을 제거하지는 않습니다.

Czwarte ograniczenie ma charakter procesowy: skuteczność trzeba rozumieć w kontekście konkretnej receptury i harmonogramu fermentacji. Ten sam enzym może mieć inne znaczenie w lagerze o długim dojrzewaniu, inne w piwie mocno chmielonym na zimno, a jeszcze inne w napoju fermentowanym o nietypowym składzie.

## Miejsce produktu Enzymes.bio w procesie zakupowym browaru

---

**Alpha-Acetolactate Decarboxylase For Brewing Industry** oferowana przez Enzymes.bio jest przeznaczona dla browarów i producentów napojów fermentowanych, którzy chcą zastosować ALDC jako narzędzie kontroli prekursora diacetylu. Enzymes.bio działa jako dostawca produktu dostępnego online, bez przedstawiania się jako producent lub laboratorium wykonujące badania aplikacyjne.

Produkt jest sprzedawany bezpośrednio online w jednostkach **1 kg**. Po złożeniu i opłaceniu zamówienia realizowana jest wysyłka, a dokumenty **Certificate of Analysis (CoA)** oraz **Safety Data Sheet (SDS)** są dostarczane wraz z zamówieniem. W dokumentacji procesowej browaru ALDC powinna być traktowana jako pomoc technologiczna, której użycie należy powiązać z własnym planem fermentacji, kontrolą VDK i wymaganiami jakościowymi gotowego piwa.

## Podsumowanie: kiedy ALDC ma największy sens?

---

Alpha-Acetolactate Decarboxylase For Brewing Industry ma największą wartość wtedy, gdy browar chce ograniczyć powstawanie diacetylu już na etapie jego prekursora. Mechanizm jest jasny: ALDC przekształca  $\alpha$ -acetomleczan w acetoinę, zmniejszając ilość substratu, który mógłby chemicznie przejść w diacetyl. To działanie jest zgodne zarówno z wiedzą strukturalną o enzymie, jak i z historycznymi pracami nad drożdżami piwowarskimi wyposażonymi w aktywność ALDC. <sup>[1]</sup>

Najbardziej typowe zastosowania obejmują lagery, piwa o czystym profilu fermentacyjnym, produkcję szybko rotującą oraz procesy, w których stabilność harmonogramu tanków jest ważna ekonomicznie. ALDC może też być elementem strategii w piwach chmielonych na zimno, choć w tym przypadku trzeba uwzględnić hop creep, pH i moment powstawania nowych prekursorów diacetylu.

Realistyczne oczekiwanie jest następujące: ALDC nie naprawia gotowego piwa z już uformowanym diacetylem, ale może istotnie zmniejszyć ryzyko jego powstawania, jeśli zostanie użyta w odpowiednim miejscu procesu. Dla browaru jest to narzędzie prewencyjne — precyzyjne, dobrze uzasadnione biochemicznie i szczególnie użyteczne tam, gdzie czysty profil sensoryczny oraz przewidywalny czas dojrzewania są krytyczne dla produkcji.

## Zamów Alpha-Acetolactate Decarboxylase For Brewing Industry 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 Alpha-Acetolactate Decarboxylase For Brewing Industry →](#)

## Bibliografia

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

1. Marlow, V. A., Rea, D., Wills, M., & Fülöp, V. (2012). Structural insights into the mechanism of acetolactate decarboxylase. *The FASEB Journal*, 26.
2. Abv Alpha Acetolactate Decarboxylase. *Lallemandbrewing*.
3. Aymes, F., Monnet, C., & Corrieu, G. (1999). Effect of alpha-acetolactate decarboxylase inactivation on alpha-acetolactate and diacetyl production by Lactococcus lactis subsp. lactis biovar diacetylactis. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 87 1, 87-92 .
4. Endozym Aldc 22247. Aeb-group.
5. Kim, B., Lee, S., Lu, M., Park, J., & Lee, J. (2011). Production of 2,3-Butanediol by Klebsiella pneumoniae through Overexpression of Acetolactate synthase, Alpha-acetolactate decarboxylase and Butanediol dehydrogenase Genes.
6. Beer, K., & Kaisha, K. (2010). DNA strand coding for alpha-acetolactate decarboxylase and yeast transformed with the DNA strand - European Patent Office - EP 0339532 B1.
7. Sone, H., Fujii, T., Kondo, K., Shimizu, F., Tanaka, J., Inoue, T., Erdal, K., ... et al. (1988). Nucleotide sequence and expression of the Enterobacter aerogenes alpha-acetolactate decarboxylase gene in brewer's yeast. *Applied and Environmental Microbiology*, 54, 38 - 42.
8. Kronlöf, J., & Linko, M. (1992). PRODUCTION OF BEER USING IMMOBILIZED YEAST ENCODING  $\alpha$ -ACETOLACTATE DECARBOXYLASE. *Journal of The Institute of Brewing*, 98, 479-491.
9. Onnela, M., Suihko, M., Penttilä, M., & Keränen, S. (1996). Use of a modified alcohol dehydrogenase, ADH1, promoter in construction of diacetyl non-producing brewer's yeast. *Journal of Biotechnology*, 49 1-3, 101-9 .
10. Monnet, C., & Corrieu, G. (2007). Selection and properties of alpha-acetolactate decarboxylase-deficient spontaneous mutants of Streptococcus thermophilus. *Food microbiology*, 24 6, 601-6 .
11. Singh, R., Singh, A., & Sachan, S. (2019). Enzymes Used in the Food Industry: Friends or Foes?. *Enzymes in Food Biotechnology*.
12. Zhang, X., Rao, Z., Li, J., Zhou, J., Tao-Yang, Xu, M., Bao, T., ... et al. (2015). Improving the acidic stability of Staphylococcus aureus  $\alpha$ -acetolactate decarboxylase in Bacillus subtilis by changing basic residues to acidic residues.

*Amino Acids*, 47, 707-717.

13. Exbeeriment Impact Alpha Acetolactate Decarboxylase Aldc At Dry Hop Has On A West Coast Pils. *Brulosophy*.
14. Benucci, I., Lombardelli, C., & Esti, M. (2023). Innovative continuous biocatalytic system based on immobilized tannase: possible prospects for the haze-active phenols hydrolysis in brewing industry. *European Food Research and Technology*, 249, 2625-2633.
15. Dko Technology. *Omegayeast*.

## 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.