

Dwutlenek węgla w piwie

Carbon dioxide in beer

dr hab. inż. Aleksander Poreda, prof. URK

Katedra Technologii Fermentacji i Mikrobiologii, Wydział Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Słowa kluczowe: piwo, warzenie, dwutlenek węgla, wysycenie
Keywords: beer, brewing, carbon dioxide, carbonation

Carbon dioxide plays a key role in the quality of beer as its important component. It is present in beer due to fermentation process, and can also be supplied by forced carbonization. The article presents the most important information about the role of carbon dioxide in beer, its properties and solubility. The units that are used to express the level of beer saturation and the ranges that are used to produce beer in various styles are also discussed.

Dwutlenek węgla odgrywa kluczową rolę w jakości piwa jako jego ważny składnik. Jest obecny w piwie dzięki fermentacji, może być też dostarczony przez wymuszoną karbonizację. W artykule przedstawiono najważniejsze informacje dotyczące roli dwutlenku węgla w piwie, jego właściwości i rozpuszczalności. Omówiono też jednostki jakie są używane do wyrażenia poziomu wysycenia piwa tym gazem oraz zakresy jakie stosowane są do produkcji piwa w różnych stylach.

Wstęp

Piwo to gazowany napój alkoholowy, produkowany podczas fermentacji alkoholowej przez drożdże, które przekształcają cukry zawarte w brzeczce słodowej na alkohol etylowy, dwutlenek węgla (CO₂) i metabolity wtórne (kwasy, alkohole wyższe, aldehydy, estry i inne). Dwutlenek węgla (pochodzący z fermentacji lub dodawany do piwa po zakończeniu tego procesu), oprócz kluczowej roli nasyca piwa gazem, ma również wiele innych zastosowań w browarze. Gaz ten służy między innymi do przeprowadzenia transferu piwa przy pomocy ciśnienia, ochrony piwa przed utlenianiem, przedmuchiwania zbiorników w celu eliminacji z nich powietrza, czy do uzyskiwania odpowiedniego ciśnienia w zbiorniku podczas wyszynku piwa. W tym artykule usystematyzowane zostaną informacje dotyczące właściwości dwutlenku węgla, czynników wpływających na jego stężenie oraz roli tego gazu w piwie.

Rola dwutlenku węgla w piwie

Wysycenie piwa dwutlenkiem węgla do odpowiedniego poziomu jest kluczowym warunkiem uzyskania piwa o właściwym składzie chemicznym. Po wodzie i etanolu właśnie ten związek chemiczny zajmuje czołowe miejsce pod względem ilościowego udziału w składzie produktu. W związku z tym nieodpowiednie stężenie CO₂ w piwie w sposób oczywisty może stanowić istotną wadę produktu. Należy o tym pamiętać nie tylko w toku produkcji, ale także na etapie serwowania piwa w lokalach gastronomicznych metodą wyszynku, ponieważ jest to etap, podczas którego zawartość dwutlenku węgla w piwie może ulegać istotnym zmianom. Z punktu widzenia browaru, który najczęściej zapewnia prawidłowy poziom wysycenia piwa gazem, ważne jest, aby zadbać o wysoką świadomość obsługi lokali gastronomicznych, odpowiednie wytyczne oraz kontrolę jakości piwa w lokalach, pod względem ich prawidłowego serwowania. Istnieje bowiem ryzyko, że klient po spożyciu odgazowanego (lub przegazowanego) piwa, straci zaufanie do marki, a nawet browaru.

Kluczowa rola odpowiedniego stężenia dwutlenku węgla związana jest z wpływem tego parametru na wszystkie aspekty oceny piwa przez konsumenta. Wysycenie piwa wpływa na jego teksturę, smak, aromat, wygląd i ogólne wrażenia sensoryczne. Odpowiednie wysycenie piwa gazem przejawia się podczas konsumpcji wydzielającymi się z roztworu wodnego pęcherzykami gazu, co nadaje efekt wizualny, a także pobudza inne zmysły. Karbonizacja wpływa na teksturę piwa i jest kluczowym elementem w wielu stylach piwnych. Dwutlenek węgla działa orzeźwiająco, dodaje piwu efektu świeżości i może wpływać na percepcję smaku. Odpowiednie wysycenie jest w stanie zamaskować drobne błędy w smaku piwa. Pęcherzyki gazu unoszą ze sobą aromaty piwa, co z kolei intensyfikuje doznania węchowe. Udowodniono, że wzrost wysycenia powoduje intensywniejsze uwalnianie do fazy lotnej octanu etylu i alkoholu izoamylowego, co wzmacnia odczucie aromatu piwa przez degustatora. Wysoki poziom karbonizacji może zmniejszać odczucie słodczy, natomiast niski może powodować, że piwo wydaje się bardziej pełne i słodkie. Dwutlenek węgla jest też kluczowy podczas tworzenia piany, która jest ważnym aspektem prezentacji piwa. Wątroby wizualne piany, czyli odpowiednia struktura, grubość warstwy oraz czas utrzymania na powierzchni piwa są często kluczowymi elementami w pierwszej ocenie jaką konsument wystawia podczas degustacji. Piana dodatkowo może chronić piwo przed utlenianiem i zachować jego świeżość na dłużej.

Skąd się bierze dwutlenek węgla w piwie?

Dwutlenek węgla jest obecny w piwie dzięki naturalnej fermentacji lub może być dodany bezpośrednio z zewnętrznego źródła (wprowadzanie do zbiornika gazu pod ciśnieniem). Wysycenie piwa dwutlenkiem węgla w drodze wtórnej fermentacji określa się jako **karbonizacja naturalna**, natomiast bezpośredni dodatek nazywamy **karbonizacją wymuszoną**.

Proces fermentacji brzeczki jest naturalnym źródłem dwutlenku węgla, który jest jednym z głównych produktów fermentacji i odgrywa istotną rolę w charakterystyce końcowego produktu. Podczas fermentacji drożdże przekształcają cukry w alkohol i CO₂. W trakcie metabolizmu węglowodanów, cząsteczka pirogronianu otrzymana z glukozy ulega dekarboksylacji, dając jedną cząsteczkę dwutlenku węgla oraz jedną aldehydu octowego, który następnie przekształcany jest na drodze redukcji w etanol. Proces ten naturalnie karbonizuje piwo. W konsekwencji z każdej cząsteczki glukozy powstają dwie cząsteczki dwutlenku węgla. Proces ten można kontrolować poprzez temperaturę i ciśnienie podczas fermentacji, aby osiągnąć pożądaną poziom karbonizacji. Otwarte fermentory pozwalają na ewakuację dużej części CO₂, z uwagi na brak możliwości zbudowania ciśnienia w zbiorniku, podczas gdy zamknięte fermentory umożliwiają zatrzymanie w piwie więcej gazu, zwiększając karbonizację.

Alternatywnie, najczęściej w piwowarstwie domowym lub w przypadku wybranych stylów piwnych można do odfermentowanego

piwa dodać cukier lub inne fermentowalne składniki (np. syrop, ekstrakt słodowy, brzeczke) bezpośrednio przed butelkowaniem piwa, co prowadzi do wtórnej fermentacji i naturalnej karbonizacji w butelce. Technika ta została pierwotnie opracowana w celu zapewnienia nasycenia piwa dwutlenkiem węgla, ale ma też ważne znaczenie związane z tworzeniem charakterystycznych cech sensorycznych i zwiększeniem stabilności sensorycznej piwa, co jest związane z aktywnością metaboliczną drożdży w opakowaniu.

Naturalna karbonizacja jest procesem czasochłonnym, wymagającym dni lub tygodni. Kolejną potencjalną wadą w tym przypadku może być mniejsza przewidywalność procesu i trudniejsza kontrola niż w przypadku wymuszonej karbonizacji. Naturalne nasycenie dwutlenkiem węgla stosowane jest więc przede wszystkim w zakładach o małej skali produkcji oraz w piwowarstwie domowym.

Biorąc pod uwagę powyższe względy, rozwiązaniem często stosowanym, szczególnie w produkcji przemysłowej piwa jest wymuszona karbonizacja. Po zakończeniu fermentacji piwo wysyca się dwutlenkiem węgla przez wprowadzenie tego gazu pod ciśnieniem. Po zakończeniu fermentacji piwo trafia do tanku pośredniczącego, opcjonalnie z wykorzystaniem wirówki w celu usunięcia drożdży. Po umieszczeniu w zbiorniku piwo wysyca się do pożądanego poziomu, następnie produkt jest pakowany i przeznaczony do dystrybucji. Jest to powszechnie stosowane w browarach, gdzie bardzo ważne jest minimalizowanie czasu przebywania piwa w tankach fermentacyjnych, dla osiągnięcia precyzyjnego poziomu karbonizacji w odpowiednio krótkim czasie.

Jednostki zawartości CO₂ w piwie oraz rozpuszczalność

Ilość dwutlenku węgla (CO₂) w piwie wyrażana jest w kilku różnych jednostkach, w zależności od kontekstu i standardów stosowanych w różnych częściach świata. Poniżej przedstawione zostaną najczęściej używane jednostki, wraz z najważniejszymi informacjami dotyczącymi dwutlenku węgla w aspekcie chemicznym i fizycznym, co pozwoli lepiej zrozumieć stosowane jednostki i kontrolę wysycenia piwa gazem.

Dwutlenek węgla to związek chemiczny, który w warunkach normalnych jest bezbarwnym, bezzapachowym i niepalnym gazem. Jego gęstość wynosi 1977 g/l (w temperaturze 0°C), a masa molowa 44,01, co oznacza, że jeden mol CO₂ ma masę 44,01 g (**mol** to jednostka liczności materii, która oznacza 6,02 x 10²³ elementów, czyli atomów, cząsteczek, jonów, itp.). Warto przypomnieć, że jeden mol dowolnego gazu w warunkach normalnych (ciśnienie 1013,25 hPa, temperatura 273 K tj. 0°C) zajmuje zawsze objętość 22,4 litrów.

Powszechnie używaną jednostką stosowaną w przemyśle piwowarskim jest **objętość CO₂ rozpuszczona w danej objętości piwa** (volumes of CO₂). Jedna objętość CO₂ (1 vol CO₂) oznacza, że jeden litr piwa zawiera jeden litr dwutlenku węgla w stanie gazowym przy standardowej temperaturze i ciśnieniu. Biorąc pod uwagę informacje przedstawione powyżej, jeden litr CO₂ ma masę 1,96 g (44,01:22,4=1,96). Więc 1 vol CO₂ (w jednym litrze piwa rozpuszczony jest 1 litr gazu) oznacza ilość 1,96 g/L CO₂. Stąd często stosowany przelicznik (po zaokrągleniu) 1 vol CO₂ to w przybliżeniu 2 g dwutlenku węgla na litr piwa.

Kolejną stosowaną jednostką jest **gram na litr (g/L)**. Ta jednostka jest bardziej bezpośrednia i wskazuje na masę CO₂ rozpuszczonego w jednym litrze piwa. Typowe wartości dla piwa to około 4-6 g/L CO₂. Zawartość masową dwutlenku węgla w piwie można też wprost przeliczyć na udział procentowy, stąd ilość 5 g/L dwutlenku węgla można zapisać jako 0,5%.

Ciśnienie CO₂ w beczkach i zbiornikach fermentacyjnych jest często wyrażane w jednostkach ciśnienia takich jak **funty na cal kwadratowy** (psi), **bary** (bar) lub **kilopaskale** (kPa). Te jednostki pomagają kontrolować i regulować procesy karbonizacji oraz serwowania piwa. Aby osiągnąć określony poziom CO₂ w piwie, należy odpowiednio dostosować ciśnienie w beczce (co będzie oznaczało odpowiednie stężenie tego gazu w piwie).

Każda z tych jednostek ma swoje zastosowanie w różnych aspektach produkcji, kontroli jakości i serwowania piwa. Wybór jednostki zależy od specyficznych potrzeb i standardów stosowanych w danym browarze, regionie czy kraju.

Rozpuszczalność CO₂ w fazie ciekłej reguluje **prawo Henry'ego**, wg którego stężenie rozpuszczonego gazu w fazie ciekłej jest proporcjonalne do ciśnienia cząstkowego gazu w fazie gazowej nad cieczą. We wzorze występuje współczynnik proporcjonalności, który zmienia się wraz z temperaturą. Warto zauważyć, że matryca jaką jest piwo, zawiera również etanol, który zwiększa rozpuszczalność dwutlenku węgla. Niemniej jednak, w przypadku piwa zawierającego mniej niż 10% alkoholu, stała Henry'ego dla dwutlenku węgla nie różni się znacząco od tych określonych w wodzie.

Rozpuszczalność dwutlenku węgla w roztworze wodnym (jakim jest piwo) spada ze wzrostem temperatury, a wzrasta ze wzrostem ciśnienia. Dla przykładu oddziaływania temperatury: 100 części wody rozpuszcza 171 części dwutlenku węgla w temperaturze 0°C, 119 w 10°C, 88 w 20°C, 75,7 w 25°C i 27 w 60°C. Jak widać w zakresie temperatur typowych dla piwa w warunkach fermentacji (0-20°C), rozpuszczalność gazu waha się w dosyć szerokim zakresie, wzrastając prawie dwukrotnie między granicznymi wartościami przy chlōdzeniu piwa z 20 do 0°C. Natomiast oddziaływanie ciśnienia ukazuje następujący przykład: 1 litr CO₂ rozpuszcza się w 1 l wody (w temperaturze pokojowej) przy ciśnieniu wynoszącym 1 bar (normalne ciśnienie powietrza); 2 l CO₂ przy ciśnieniu 2 bar; 3 l przy 3 bar itd. Warto mieć też na uwadze, że w wodzie zawierającej dwutlenek węgla zmienia się nieco odczyn pH, roztwór staje się lekko kwaśny, ponieważ 0,1% cząsteczek rozpuszczonego dwutlenku węgla reaguje z wodą, dając kwas węglowy.

W domenie publicznej dostępne są tabele/wykresy zależności ciśnienia i temperatury w celu określenia warunków jakie należy zapewnić, aby osiągnąć zakładany poziom wysycenia piwa gazem. Jednak badania naukowe wykazują, że dla szerokiego zakresu stylów piwnych (w tym nisko alkoholowych, nisko ekstraktowych) spotykanych w nowoczesnych piwach rozpuszczalność dwutlenku węgla może się różnić od tej przewidzianej dla „standardowego” piwa. Niestety, nie ma również innych, bardziej dokładnych wytycznych, ponieważ uproszczone modele teoretyczne nie uwzględniają złożoności piwa, podczas gdy modele empiryczne należy konstruować indywidualnie dla konkretnych piw, wytwarzanych w konkretnych warunkach technicznych. Obecnie browary akceptują więc niedokładność publikowanych wykresów rozpuszczalności, stosując odpowiednie korekty po wytworzeniu piwa i na podstawie wyników analizy sensorycznej prototypu.

W związku ze zmiennością rozpuszczalności dwutlenku węgla w piwie w zależności od panujących warunków, poziom nagazowania może się zmieniać podczas przechowywania, a szczególnie serwowania. Piwo przechowywane w beczkach pod ciśnieniem zachowuje stały poziom karbonizacji. Temperatura serwowania wpływa na rozpuszczalność CO₂, a tym samym na tempo uwalniania gazu z piwa. Piwo serwowane w wyższej temperaturze będzie miało mniej gazu,

co wpłynie na jego smak i teksturę podczas konsumpcji. Aby zachować odpowiednie nagazowanie w przypadku wzrostu temperatury należy zwiększyć odpowiednio ciśnienie w zbiorniku wyszynkowym.

Ile dwutlenku węgla powinno być w piwie?

Docelowy poziom wysycenia piwa zależy od stylu. Dla większości stylów piwnych zawartość 0-1,5 objętości CO₂ daje piwo odbierane jako zbyt nisko wysyczone. W przypadku stoutów i porterów poziom wysycenia jest zazwyczaj w zakresie 1,5-2,2 vol CO₂, dla większości innych piw (lagery, ale) mieści się w granicach 2,2-2,6 vol CO₂, a w przypadku piw wysoko wysyconych, takich jak piwa pszeniczne czy piwa typu lambic zawartość dwutlenku węgla może sięgać nawet 4 vol CO₂. Przy wysyceniu powyżej 4 objętości dwutlenku węgla piwo zazwyczaj oceniane jest jako przegazowane. Dla porównania szampan zawiera do 6 objętości dwutlenku węgla.

Podsumowanie

Dwutlenek węgla jest nieodłącznym elementem piwa, wpływającym na jego jakość i doznania sensoryczne. Kontrola CO₂ w procesie warzenia jest kluczowa dla osiągnięcia pożądanego profilu smakowego i estetycznego piwa. Zarówno naturalna fermentacja, jak i kontrolowany dodatek CO₂ są stosowane w browarach komercyjnych, pozwalając na tworzenie piw o zróżnicowanej saturacji, a tym samym dostosowanych do wymagań danego stylu i gustu konsumentów. Kluczowa rola dwutlenku węgla zarówno w produkcie finalnym, jak i podczas wytwarzania piwa, powoduje, że w czasach zmiennych cen, niepewności dostaw oraz związanego z tym ryzyka wstrzymania produkcji ważna jest odpowiednia gospodarka dwutlenkiem węgla w browarze. Browary wielkoskalowe wyposażone są w dedykowane zbior-

niki do przechowywania CO₂, które pomagają w zapewnieniu stałej dostępności gazu i uniknięciu jego wyczerpania w szczytowych okresach produkcji. Małe browary, z uwagi na brak miejsca czy zasobów finansowych polegają na dostawach na żądanie lub przechowywaniu gazu w mniejszych zbiornikach (butlach). W obecnych czasach (w browarach o odpowiednio dużej skali produkcji) coraz bardziej popularne są systemy odzyskiwania i ponownego wykorzystania CO₂. Systemy te odbierają dwutlenek węgla uwalniany podczas procesu fermentacji i po odpowiednim przetworzeniu pozwalają na ponowne wykorzystanie go do nasycania piwa, przedmuchu zbiorników i innych zastosowań. Rozwiązanie to pozwala zmniejszyć emisję CO₂ i obniżyć koszty związane z zakupem tego gazu.

Literatura

- [1] I. Dalmolin, E. Skovroinski, A. Biasi, M.L. Corazza, C. Dariva, J. Vladimir Oliveira. 2006. „Solubility of carbon dioxide in binary and ternary mixtures with ethanol and water”. *Fluid Phase Equilibria*, Volume 245, Issue 2.
- [2] Speers, Robert & MacIntosh, A.J. 2013. „Carbon Dioxide Solubility in Beer”. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 71. 10.1094/ASBCJ-2013-1008-01.
- [3] „How Many CO₂ Bubbles in a Glass of Beer?”. Gérard Liger-Belair and Clara Cilindre, *ACS Omega* 2021 6 (14), 9672-9679, DOI: 10.1021/acsomega.1c00256
- [4] Clark, R., Linforth, R., Bealin-Kelly, F., & Hort, J. 2012. „Effects of Ethanol, Carbonation and Hop Acids on Volatile Delivery in a Model Beer System”. *Journal of the Institute of Brewing*, 117(1), 74-81. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2011.tb00446.x>
- [5] Kunze W. 2019. „Technology Brewing and Malting” (6th ed.) Berlin: VLB.
- [6] Štulíková K., Novák J., Vlček J., Šavel J., Košin P., Dostálek P. 2020. „Bottle Conditioning: Technology and Mechanisms Applied in Refermented Beers”. *Beverages*, 6, 56, <https://doi.org/10.3390/beverages6030056>

STUDIA PODYPLOMOWE

DYPLOMOWANY PIWOWAR

technologia browarnicza
z elementami techniki



REKRUTACJA otwarta

bit.ly/Dyplomowany-Piwowar-Rejestracja



UNIWERSYTET ROLNICZY
im. Hugona Kollątaja w Krakowie

