

Wiedza o rozpuszczalności gazów może uratować życie

Knowledge of gas solubility can save lives

Iwona Misztal

Okręgowy Urząd Miar w Katowicach

W artykule opisano prawo Henry'ego dotyczące rozpuszczalności gazów w cieczach w zależności od ciśnienia i temperatury. Znajomość stałej Henry'ego odgrywa bardzo ważną rolę w procesie oddychania, na przykład podczas nurkowania czy przy produkcji napojów gazowanych. Od 200 lat wiedza o rozpuszczalności gazów ratuje ludzkie życie.

The article is about Henry's law on the solubility of gases in liquids depending on pressure and temperature. Knowing the Henry's constant plays a very important role in the breathing process, for example when you are diving or in the production of sodas. For 200 years, knowledge of gas solubility had saved lives.

Słowa kluczowe: rozpuszczalność, stała Henry'ego, teoria dekompresji w nurkowaniu

Keywords: solubility, Henry's constant, decompression theory in diving

Wstęp

Rozpuszczalność to zdolność substancji chemicznych w postaci stałej, ciekłej i gazowej (substancji rozpuszczalnej) do rozpuszczania się w stałej, ciekłej, gazowej fazie dyspergującej (rozpuszczalniku) tworząc roztwór, czyli mieszaninę homogeniczną [1]. Rozpuszczalność określa, jak dużo danego składnika można rozpuścić w rozpuszczalniku w pewnych warunkach, w celu uzyskania roztworu nasyconego. Może dochodzić do przekroczenia rozpuszczalności danej substancji, prowadząc do powstawania roztworów przesyconych, to znaczy, ciecz jest przesycona gazem, gdy ciśnienie wewnętrzne jest wyższe niż ciśnienie zewnętrzne.

Ciecz jest nienasycona, gdy jest w stanie rozpuścić więcej gazu. Dzieje się tak, gdy ciśnienie zewnętrzne jest większe niż ciśnienie wewnętrzne cieczy. Rozpuszczalność zależy od rodzaju substancji rozpuszczonej, rodzaju rozpuszczalnika, temperatury, a dla gazów również od ciśnienia.

Prawo Henry'ego

William Henry (1775–1836), angielski fizyk i chemik, przemysłowiec z Manchesteru, właściciel fabryki

produkującej mleko magnezjowe (lek przeciw nadkwasocie), w wyniku przeprowadzonych badań dotyczących rozpuszczalności gazów w cieczach, w 1803 roku, wykrył zależność rozpuszczalności gazów w cieczach w zależności od ciśnienia w stałej temperaturze, według którego masa gazu, rozpuszczająca się w określonej ilości cieczy, jest wprost proporcjonalna do ciśnienia gazu nad cieczą.

Zależność tę określa równanie:

$$m = k \cdot p \quad (1)$$

w którym:

m	masa gazu rozpuszczona w określonej ilości cieczy
p	ciśnienie gazu nad cieczą
k	współczynnik proporcjonalności (rozpuszczalności)

Stała k , nazywana stałą Henry'ego, zależy od natury gazu, rozpuszczalnika i temperatury. Prawo Henry'ego nazywa się „prawem” dlatego, że wyjaśnia zjawiska

William Henry był nauczycielem dla wielu fizyków i chemików, cenił sobie „metodę, porządek i czystość”.

Jego zdaniem:

*Jedno doświadczenie,
dobrze przeprowadzone
od początku do końca,
dostarczy więcej wiedzy niż
uważne przeczytanie
całego tomu.*

Painted by James Lonsdale.

Engraved by Henry Cousins

William Henry. M.D. F.R.S.

Vice President of the Literary and Philosophical Society of Manchester &c. &c.

P.64

przyrody w najbardziej naukowej i matematycznie ścisły sposób. Prawo Henry'ego stosuje się w sytuacji, gdy substancji rozpuszczonej jest dużo mniej niż rozpuszczalnika. Przez rozpuszczalnik rozumiemy tę substancję, której jest najwięcej.

Nie możemy mówić o rozpuszczalniku i substancji rozpuszczonej, jeżeli ilość obu substancji mało się od siebie różni, powstały roztwór określamy wówczas terminem mieszanina. Rozpuszczalnik przyjmuje się według zasady, że *podobne rozpuszcza się w podobnym*. Z prawa tego wynika, że w stałej temperaturze podwojenie ciśnienia cząstkowego powoduje dwukrotne zwiększenie rozpuszczalności.

Wszelkie układy, w których w roztworze rozpuszcza się gaz, są układami idealnie pasującymi do opisującego prawa. Wraz ze wzrostem temperatury rozpuszczalność gazu maleje, dotyczy to przede wszystkim rozpuszczalności gazów w wodzie. Woda wrząca jest praktycznie wolna od gazów rozpuszczonych. Dlatego też życie organiczne nie może odbywać się w wodzie przegotowanej. Wraz ze wzrostem temperatury rozpuszczalność gazu maleje, również gdy zmniejsza się ciśnienie nad roztworem. Przykładem może być odkręcenie butelki z wodą gazowaną, wówczas ciśnienie nad roztworem spada, obniżając rozpuszczalność CO₂. Powstały układ zaczyna się pienić, ponieważ nagle z całej objętości wydostaje się gaz. Rozpuszczalność gazów w cieczach rośnie wraz z obniżaniem temperatury i wzrostem ciśnienia.

Znajomość stałej Henry'ego dla gazów w tłuszczach i lipidach odgrywa ważną rolę w analizie procesu oddychania podczas nurkowania, górskich wspinaczek czy też działania gazowych środków anestetycznych.

Produkcja napojów gazowanych i szampana jest kolejnym przykładem działania prawa Henry'ego. Każdy z tych napojów zawiera dwutlenek węgla rozpuszczony pod zwiększonym ciśnieniem. Gdy otwieramy butelkę szampana, ciśnienie cząstkowe CO₂ nad roztworem zostaje nagle obniżone i roztwór musuje (pieni się), a gaz wydziela się z roztworu, ze świątecznym wystrzałem. Kolejnym przykładem są zgazowane napoje bezalkoholowe, które zawierają CO₂, który rozpuszcza się pod wpływem wysokiego ciśnienia, utrzymując każdy z połączonych składników, które go tworzą, zachowując smak napoju na dłużej. Bieżąca woda w płytkich strumieniach ma lepsze stężenie tlenu niż woda niegazowana, ponieważ może dobrze mieszać się z powietrzem. Istnieje również silna zależność między temperaturą a stężeniem tlenu. Ciśnienie atmosferyczne jest niższe na większych wysokościach, więc woda na wyższych wysokościach zawiera mniej rozpuszczonego tlenu niż woda na poziomie morza. Ilość rozpuszczonego tlenu jest największa w ciągu dnia, ponieważ wtedy organizmy wytwarzają

tlenu. Wraz ze wzrostem temperatury wody jej zdolność rozpuszczania tlenu w sobie staje się trudniejsza. Może to być szczególnie niebezpieczne dla zwierząt wodnych, ponieważ są one podatne na obniżenie poziomu tlenu w ciągu dnia lub podczas upalnych letnich dni. Stężenie tlenu na powierzchni jezior i oceanów jest wyższe niż na większych głębokościach. Istnieją inne zastosowania prawa Henry'ego, takie jak nasycenie dwutlenkiem węgla w wodzie, a nawet obliczenia tlenu w ludzkim krwiobiegu.

Teoria dekompresji w nurkowaniu

Wiedza o rozpuszczalności gazów może uratować życie. Szczególnie nurek musi znać te zagadnienia, ponieważ one mogą decydować o jego przeżyciu. Podczas zanurzania, za każdym razem wciągając powietrze do płuc, azot, jako główny składnik powietrza, kontaktuje się z krwią, która przepływa wokół pęcherzyków płucnych. Azot rozpuszcza się w krwi i wędruje do wszystkich tkanek organizmu. W naszym ciele przez całe życie znajduje się pewna ilość gazu, dlatego mówi się, że nasze tkanki są nasycone azotem.

W czasie nurkowania, kiedy oddychamy sprężonym powietrzem, w naszej krwi w tkankach rozpuszcza się dodatkowa porcja azotu, a głębokość i czas nurkowania wpływa na jego ilość. Cały ten proces zachodzi zgodnie z prawem Henry'ego. W naszych tkankach, zawierających prawie 80 % wody, rozpuszcza się tym więcej azotu, im głębiej i dłużej nurkujemy. Szybko nasycy się krew, a prędkość nasycania zależy od kontaktu tkanki z układem krwionośnym. Im większa jest różnica ciśnień parcyjnych między tkankami naszego ciała a otoczeniem, nasycamy się szybciej i im dłuższy czas tym nasycenie jest coraz większe. Najszybciej nasycamy się na początku, kiedy różnica ciśnień parcyjnych jest największa, ponieważ z upływem czasu prędkość nasycania spada. Jest granica, przy której tkanka nasyci się całkowicie i nie będzie już nasycać się, a takie pełne nasycenie nazywa się saturacją. Nasycenie jest to ilość tlenu, jaką może pomieścić jeden litr wody w stosunku do całkowitej ilości tlenu, jaką woda może pomieścić w danej temperaturze.

Modele dekompresyjne (odsycanie) zakładają, że nurkowanie nie będzie chaotycznym pływaniem góra dół, a bardzo przemyślanym działaniem polegającym na zaplanowaniu, że zaczyna się nurkowanie od największej głębokości, aby później stopniowo wynurzać się. Prawidłowy profil nurkowania zaczyna się od największej głębokości i powoli się wyptyca, bez dodatkowych zanurzeń i wynurzeń. Podczas wynurzania ciśnienie wokół wyptywającego nurka spada, zawarty w płynach tkankowych azot nie może dłużej utrzymywać się w postaci

rozpuszczonej i wówczas wydziela się z tkanek w formie mikropęcherzyków. Taką sytuację można porównać do otwartej butelki szampana, z której wydziela się CO₂, po wyjęciu korka spada ciśnienie. Rozprężające się pęcherzyki gazu, podczas szybkiego wynurzenia, mogą blokować naczynia krwionośne w różnych częściach organizmu, powodując chorobę dekompresyjną. W związku z powyższym wynurzenie nurka musi przebiegać z określoną prędkością, którą wylicza się na podstawie tabel dekompresyjnych lub komputerów nurkowych. Dlatego komputer nurkowy powinien stanowić wyposażenie każdego nurka, pozwalając na wydłużenie czasu nurkowania. Gdy występuje wysokie nasycenie azotem, należy przerwać wynurzenie, wykonując tzw. przystanek dekompresyjny na głębokości od 3 m do 5 m w czasie 3 minut, podczas którego szkodliwy dla organizmu nadmiar azotu zostanie wydzielony, a który następnie jest transportowany z krwią do płuc, tam przenika do pęcherzyków płucnych i usuwany jest na zewnątrz z wydychanym powietrzem. Proces usuwania azotu z organizmu zwany jest desaturacją. Chociaż nie cały azot zostaje usunięty w trakcie wynurzenia, zalegającą w tkankach ilość azotu należy brać pod uwagę podczas planowania następnego nurkowania.

Bibliografia

- [1] <https://pl.wikipedia.org/wiki/Rozpuszczalność>
- [2] A. Bielański, J. Haber: Chemia fizyczna. PWN 1966, Kraków.
- [3] A. Danek: Chemia fizyczna. PZWL 1977, Warszawa.
- [4] L. Jones, P. Atkins: Chemia ogólna, PWN.
- [5] L. Pajdowski: Chemia ogólna, PWN.
- [6] F. Donka, J. Janiczak: Chemia ogólna - Analiza Jakościowa.
- [7] Słownik Encyklopedyczny Europa Wydawnictwo „Chemia”, 1999.
- [8] K. Pigoń, Z. Ruziewicz: Chemia fizyczna. Biblioteka chemii tom IV PWN 1980, Warszawa.
- [9] P. Atkins: Chemia fizyczna.
- [10] W. H. Brock: Historia chemii.
- [11] R. Brdicka: Podstawy chemii fizycznej.



Iwona Misztal

Absolwentka Wyższej Szkoły Bankowej w Poznaniu – Wydział Zamiejscowy w Chorzowie, kierunek Politologia – specjalność Administracja oraz Zarządzanie Zasobami Ludzkimi. Uzyskała Certificate of postgraduate studies, range of studies Personnel Management. W Okręgowym Urzędzie Miar w Katowicach pracuje od 2000 roku w Laboratorium Masy. Autorka artykułu dotyczącego historii odważników opublikowanego w Zeszytcie Historycznym Głównego Urzędu Miar.