



## Badanie wydajności reakcji chemicznej

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Symulacja interaktywna](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



## Badanie wydajności reakcji chemicznej

Dlaczego bada się wydajność reakcji chemicznej? Co sprawia, że reakcje nie zachodzą ze 100% wydajnością?

Źródło: dostępny w internecie: [www.pixabay.com](http://www.pixabay.com), domena publiczna.

W życiu codziennym często spotykamy się z terminem wydajności, jak np. wydajność pracy czy wydajność oprogramowania. Wymienione sformułowania możemy przedstawić za pomocą cyfr. Czy w chemii również istnieje pojęcie wydajności? Planując reakcje czy procesy chemiczne, ważne jest zebranie informacji dotyczących danej reakcji. Chemicy muszą dokładnie wiedzieć, jaka ilość jednego substratu reaguje z daną ilością drugiego oraz jaka ilość produktu powstała w wyniku przeprowadzonej reakcji, aby porównać ilość uzyskanego z reakcji produktu z ilością, która miała zostać uzyskana. Do tego właśnie wykorzystują procentową wydajność. Jak możemy zbadać wydajność reakcji chemicznej?

### Twoje cele

- Porównasz wydajność teoretyczną reakcji z jej wydajnością rzeczywistą.
- Obliczysz procentową wydajność reakcji.
- Ocenisz wydajność procesu wieloetapowego.

# Przeczytaj

---

Reakcje chemiczne w rzeczywistym świecie nie zawsze przebiegają dokładnie tak, jak zaplanowano na papierze. W trakcie eksperymentu wiele rzeczy przyczynia się do powstania mniejszej ilości produktu, niż można by przewidzieć. Oprócz błędów eksperymentalnych, zwykle występują straty spowodowane np. niepożądanymi reakcjami ubocznymi lub zanieczyszczeniami. Chemicy potrzebują wielkości, która wskaże, jak skuteczna była reakcja. Ten pomiar nazywa się [procentową wydajnością reakcji chemicznej](#).

## Wydajność teoretyczna a rzeczywista

Chemicy stosują obliczenia stechiometryczne do przewidywania ilości produktu, której można oczekiwać po zajściu reakcji chemicznej. Spodziewana ilość produktu, na podstawie uzgodnionego równania reakcji, nazywa się [wydajnością teoretyczną](#). Nie zawsze jest ona identyczna z faktyczną ilością uzyskanego produktu w wyniku przebiegu reakcji chemicznej. To, ile ostatecznie uzyskamy produktu, określamy mianem [wydajności rzeczywistej](#).

### Ważne!

W celu obliczenia [procentowej wydajności](#), należy najpierw obliczyć, ile produktu powinno się utworzyć w oparciu o uzgodnione równanie reakcji chemicznej. Tak obliczona wielkość nazywa się wydajnością teoretyczną, czyli jest to maksymalna ilość produktu, która mogłaby powstać z danych ilości reagentów. Rzeczywista wydajność to ilość produktu, która naprawdę powstaje w reakcji chemicznej. Procentowa wydajność reakcji to wyrażony w procentach stosunek rzeczywistej wydajności do wydajności teoretycznej. Można to zapisać za pomocą poniższego wzoru:

$$W = \frac{m_r}{m_t} \cdot 100\%$$

gdzie:

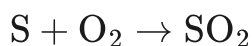
- $W$  – wydajność;
- $m_r$  – rzeczywista masa produktu;
- $m_t$  – teoretyczna masa produktu.

Najprościej pojęcie wydajności w odniesieniu do naszego życia możemy wyjaśnić wcielając się w fanów piłki nożnej. Otóż oglądając mecz, często widzimy statystki strzałów na bramkę danego napastnika – powiedzmy, że dany napastnik oddał na bramkę 10 strzałów, ale tylko jeden z nich zakończył się sukcesem w postaci gola. Wydajność takiego napastnika wynosiłaby wtedy:

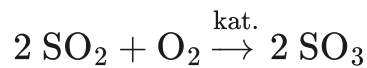
$$\left(\frac{1}{10}\right) \cdot 100\% = 10\%$$

## Otrzymywanie kwasu siarkowego(VI)

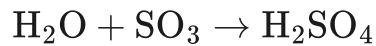
Czasami reakcja przebiega w kilku etapach, wtedy łączna wydajność procesu wieloetapowego jest iloczynem wydajności reakcji, stanowiących poszczególne etapy tego procesu. Przykładem takiej reakcji jest przemysłowa produkcja kwasu siarkowego(VI). Proces rozpoczyna się od spalania siarki w tlenie, w wyniku czego powstaje tlenek siarki(IV).



Otrzymany tlenek siarki(IV) poddaje się katalitycznemu utlenianiu do tlenku siarki(VI).



Następnie tlenek siarki(VI) jest rozpuszczany w wodzie, a otrzymany produkt to kwas siarkowy(VI).



Wydajność całkowitą tego procesu można obliczyć mnożąc poszczególne wydajności z trzech etapów produkcji.

$$W_c = (W_1 \cdot W_2 \cdot W_3) \cdot 100\%$$

gdzie:

- $W_c$  – wydajność całkowita procesu;
- $W_1$  – wydajność pierwszej reakcji;
- $W_2$  – wydajność drugiej reakcji;
- $W_3$  – wydajność trzeciej reakcji.

Pamiętaj! Do wzoru na wydajność całkowitą nie podstawiamy wartości wyrażonych w procentach. Zatem gdy wartość  $W_1$  jest równa 60%,  $W_2$  równa 50%, a wartość  $W_3$  70%. Podstawiając do wzoru, otrzymamy wartość wydajności całkowitej:

$$W_c = (0,6 \cdot 0,5 \cdot 0,7) \cdot 100\% = 21\%$$

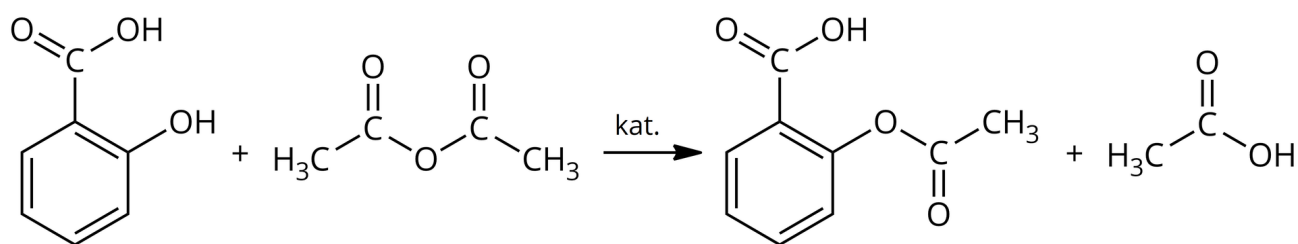
**Jak obliczyć wydajność reakcji?**

## Polecenie 1

Przeprowadzono eksperyment, w którym użyto 100 g kwasu salicylowego, a otrzymano 120,3 g aspiryny. Jaka jest wydajność procesu? Wynik podaj w procentach z dokładnością do pierwszego miejsca po przecinku.

Aspiryna to lek pochodzący z kwasu salicylowego.

1 mol kwasu salicylowego daje 1 mol aspiryny:



Kwas acetylosalicylowy otrzymuje się w reakcji kwasu salicylowego z bezwodnikiem octowym, w obecności kwasu siarkowego(VI) lub ortofosforowego(V) jako katalizatora.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Dlaczego wydajność rzeczywista i teoretyczna często się różnią?

Rzeczywista wydajność reakcji chemicznych jest zwykle mniejsza niż wydajność teoretyczna. Jest to spowodowane różnymi czynnikami, np.:

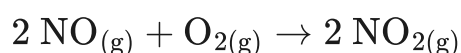
- mogą zachodzić dwie lub więcej reakcji jednocześnie – część reagentów może się przekształcić w **produkty uboczne**;
- występują straty przy oddzielaniu i oczyszczaniu pożądanego produktu z mieszaniny reakcyjnej;
- obecne są zanieczyszczenia, które nie biorą udziału w reakcji.

Procentowa wydajność jest bardzo ważna w przemyśle. Dużo czasu i pieniędzy przeznaczana się na zwiększenie procentowej wydajności produkcji chemicznej. Gdy złożone chemikalia są syntetyzowane w wielu różnych reakcjach, jeden krok z niską wydajnością procentową może spowodować duże straty reagentów i niepotrzebne wydatki.

## Reagenty limitujące

Substraty w reakcji chemicznej są często mieszane w innych proporcjach od tych wynikających z uzgodnionego równania reakcji chemicznej. Istnienie dwóch reagentów oznacza, że jednego z nich może być nadmiar. Nie zostanie on zatem w całości wykorzystany w reakcji. Drugi reagent to reagent limitujący, czyli będący w niedomiarze. W reakcji zostaje on całkowicie zużyty, a więc określa teoretyczną wydajność.

**Na przykład:**



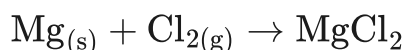
Dwa mole tlenku azotu(II) NO reagują z jednym molem tlenu O<sub>2</sub>, aby wytworzyć dwa mole tlenku azotu(IV) NO<sub>2</sub>. Jeśli więcej niż dwa mole tlenku azotu(II) zostanie zmieszane z jednym molem tlenu, wówczas tlenek azotu(II) będzie w nadmiarze, a tlen będzie reagentem limitującym. Bez względu na to, ile nadmiaru tlenku azotu(II) zostanie dodane, to nie więcej niż dwa mole tlenku azotu(IV) mogą powstać z jednego mola tlenu.

**Jak obliczyć wydajność reakcji, kiedy jeden reagent występuje w niedomiarze?**

## Polecenie 2

Do reakcji użyto 5 g magnezu, oraz 3 g chloru. Otrzymano 2,52 g chlorku magnezu. Oblicz wydajność reakcji.

Uzgodnione równanie reakcji chemicznej przybiera postać:



## Słownik

### reakcja chemiczna

przemiana chemiczna, przemiana jednych substancji chemicznych (zwanymi substratami) w inne substancje chemiczne (zwane produktami reakcji chemicznej)

### wydajność teoretyczna

ilość produktu obliczona na podstawie uzgodnionego równania reakcji

### wydajność rzeczywista

ilość produktu, który rzeczywiście powstaje, gdy reakcja chemiczna jest przeprowadzana w laboratorium lub fabryce

### reagent ograniczający

odczynnik ograniczający (lub czynnik ograniczający), w reakcji chemicznej jest całkowicie wyczerpany; ilość produktu powstającego w reakcji chemicznej jest ograniczona przez ten odczynnik, ponieważ bez niego reakcja nie może być kontynuowana

### stechiometria

dział chemii, który zajmuje się ilością stosunków reagujących ze sobą pierwiastków i związków chemicznych oraz metodami ich obliczania

## procentowa wydajność reakcji

stosunek masy produktu otrzymanego w wyniku reakcji chemicznej do teoretycznej jego masy obliczonej na podstawie współczynników stechiometrycznych równania tej reakcji i ilości użytych substratów; wyrażana zazwyczaj w procentach:

$$W = \frac{m_r}{m_t} \cdot 100\%$$

gdzie:

- $W$  – wydajność;
- $m_r$  – rzeczywista masa produktu;
- $m_t$  – teoretyczna masa produktu.

## reakcja odwracalna

reakcja, która w szerokim zakresie parametrów zewnętrznych (np. ciśnienie, temperatura, stężenia reagentów) może równocześnie zachodzić w dwóch przeciwnych kierunkach

## produkt uboczny

produkt powstający w wyniku przyjętej koncepcji technologicznej, niestanowiący jednak zasadniczego celu procesu wytwórczego

## Bibliografia

Atkins P., Jones L., *Chemical Principles: The Quest for Insight*, 5th Edition, New York 2009.

Encyklopedia PWN

Saunders N., Saunders A., *AS Chemistry*, Oxford 2007.

Myers R. T., Tocci S., Oldham K. B., *Holt Chemistry*, USA 2006.

Clancy C., Mustoe F., *Chemistry 11*, McGraw-Hill Ryerson, Kanada 2001.

# Symulacja interaktywna

## Symulacja 1

Czy wiesz, jakie czynniki mogą wpływać na wydajność reakcji chemicznej? W poniższej symulacji przedstawiono pierwszy z etapów produkcji kwasu azotowego(V) – proces utleniania amoniaku. Zapoznaj się z symulacją interaktywną, zastanów się, jakie elementy odgrywają znaczącą rolę w prowadzonej syntezie, a następnie rozwiąż poniższe zadania.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DwdWlg9Qo>

Symulacja interaktywna pt. „Badanie wydajności reakcji chemicznej”

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Ćwiczenie 1

## Ćwiczenie 2

W wielu procesach syntetycznych, obok głównej reakcji mogą przebiegać też procesy uboczne. Na podstawie reakcji przedstawionej w symulacji, opisz, jaki wpływ na wydajność syntezy mają produkty uboczne.

# Sprawdź się

---

Pokaż ćwiczenia:   

## Ćwiczenie 1



## Ćwiczenie 2



Podczas pracy w laboratorium utleniono 40 g tlenku siarki(IV) w obecności katalizatora platynowego i otrzymano 45 g tlenku siarki(VI). Procentową wydajność reakcji wynosi:

## Ćwiczenie 3



Połącz poniższe pojęcia z ich prawidłowymi definicjami.

## Ćwiczenie 4



Pewien proces chemiczny przebiega w trzech etapach o wydajności odpowiednio: 99%, 80% i 95%. Oblicz wydajność całkowitą całego procesu.

## Ćwiczenie 5



W laboratorium przemysłowym przeprowadzano syntezę jodowodoru z pierwiastków. Wydajność w danych warunkach i temperaturze wyniosła 78%. Oblicz, ile gramów jodu należy użyć w tej reakcji, aby otrzymać 500 g jodowodoru? Wynik podaj z dokładnością do drugiego miejsca po przecinku.

## Ćwiczenie 6



Oblicz, ile moli metanu należy poddać chlorowaniu, aby otrzymać 30 moli chlorometanu. Wydajność reakcji chlorowania jest równa 75%.

## Ćwiczenie 7

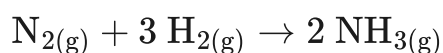


W pewnym laboratorium poddano termicznemu rozkładowi węglan wapnia. Podczas tej reakcji otrzymano tlenek węgla(IV) oraz tlenek wapnia. Reakcja przeprowadzona w tych warunkach przebiegała z 85,6% wydajnością. Zapisz równanie tej reakcji oraz oblicz, ile gramów tlenku wapnia można otrzymać w tym laboratorium, jeśli do reakcji użyje się 50 g węglanu wapnia. Wynik podaj z dokładnością do drugiego miejsca po przecinku.

## Ćwiczenie 8



Amoniak można wytworzyć w wyniku reakcji gazowego azotu, pobranego z atmosfery, z gazowym wodorem. Metoda bezpośredniej syntezy amoniaku z wodoru i azotu została odkryta przez niemieckiego fizykochemika, Fritza Habera. Otrzymał on za to w 1918 r. Nagrodę Nobla w dziedzinie chemii. To odkrycie umożliwiło wytworzenie amoniaku na skalę przemysłową, przy użyciu katalizatorów i wysokiego ciśnienia, metodą ekonomicznie opłacalną. Metoda otrzymywania amoniaku na skalę przemysłową zwana jest metodą Habera i Boscha.



Oblicz procentową wydajność tej reakcji, wiedząc, że jeśli 10,00 g azotu reaguje ze stechiometryczną ilością wodoru, to wydajność teoretyczna reakcji wynosi 12,14 g, a podczas przeprowadzania eksperymentu zostanie otrzymane 7,52 g amoniaku.

## Ćwiczenie 9



W laboratorium przemysłowym przeprowadzono reakcję chloru z wodorem. W wyniku reakcji powstało 78 g chlorowodoru. Wydajność reakcji wynosiła 75%. Oblicz objętość chloru w przeliczeniu na warunki normalne, jaka została użyta do reakcji. Wynik podaj w  $\text{dm}^3$  z dokładnością do pierwszego miejsca po przecinku.

## Ćwiczenie 10



Związek, otrzymany w wyniku spalania 0,7 g żelaza w chlorze, rozpuszczono w wodzie, a potem do roztworu dodano zasady sodowej. Powstał brunatny osad, który został odsączony i wysuszony, a następnie wyprażony. Otrzymano w ten sposób 0,7 g brunatnego związku tlenu i żelaza.

# Dla nauczyciela

---

## Scenariusz zajęć

**Autor:** Patrycja Męcik, Krzysztof Błaszczak

**Przedmiot:** chemia

**Temat:** Badanie wydajności reakcji chemicznej

**Grupa docelowa:** III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony uczniowie III etapu edukacyjnego - kształcenie w zakresie rozszerzonym

## Podstawa programowa:

Zakres rozszerzony

I. Atomy, cząsteczki i stechiometria chemiczna. Uczeń:

7) wykonuje obliczenia, z uwzględnieniem wydajności reakcji, dotyczące: liczby moli oraz mas substratów i produktów (stechiometria wzorów i równań chemicznych), objętości gazów w warunkach normalnych, po zmieszaniu substratów w stosunku stechiometrycznym i niestechiometrycznym.

## Kształtowane kompetencje kluczowe:

- kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji;
- kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii;
- kompetencje cyfrowe;
- kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

## Cele operacyjne:

Uczeń:

- rozwiąże problemy związane z procentową wydajnością reakcji chemicznych;
- porówna wydajność teoretyczną z wydajnością rzeczywistą;
- obliczy procentową wydajność reakcji chemicznych;
- oceni wydajność procesu wieloetapowego.

## Strategie nauczania:

- asocjacyjna.

## **Metody i techniki nauczania:**

- burza mózgów;
- metoda lekcji odwróconej;
- kula śniegowa;
- ćwiczenia uczniowskie;
- pogadanka;
- technika zdań podsumowujących.

## **Formy pracy:**

- praca indywidualna;
- praca w parach;
- praca w grupach;
- praca zbiorowa.

## **Środki dydaktyczne:**

- komputery z głośnikami i dostępem do internetu;
- słuchawki;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale.

## **Przebieg zajęć**

### **Faza wstępna:**

1. Zaciekawienie i dyskusja. Nauczyciel wykorzystuje pytania zawarte we wprowadzeniu do e-materiału, np.: Czy w życiu codziennym wykorzystujemy pojęcie wydajności? Czy w chemii istnieje pojęcie wydajności? Jak możemy zbadać wydajność reakcji chemicznej? Dyskusja na ten temat na forum klasy.
2. Ustalenie celów lekcji. Nauczyciel podaje temat zajęć i wspólnie z uczniami ustala cele.
3. Rozpoznawanie wiedzy wyjściowej uczniów. Burza mózgów wokół pojęcia wydajności reakcji chemicznej.

### **Faza realizacyjna:**

1. Nauczyciel wykorzystuje metodę lekcji odwróconej - zadaniem uczniów w ramach pracy domowej było dokonanie analizy tekstu w dostępnych źródłach, w tym e-materiale, nt. wydajności teoretycznej i rzeczywistej reakcji chemicznej. Chętny lub wskazany uczeń podchodzi do tablicy, zapisuje na tablicy wzór, dzięki któremu możliwe jest obliczenie wydajności reakcji chemicznej. Wyjaśnia zastosowane symbole. Następnie na podstawie przykładu uczeń wyjaśnia na głos, jak należy obliczyć wydajność reakcji chemicznej. Nauczyciel monitoruje przebieg obliczeń i ewentualnie wyjaśnia niezrozumiałe kwestie.

2. Nauczyciel informuje uczniów, że będą rozwiązywali przykład zawarty w e-materiale dotyczący obliczeń związanych z wydajnością reakcji, pracując metodą kuli śniegowej.
  - Najpierw uczniowie indywidualnie rozwiązują przykład na karteczkach, a następnie łączą się w pary, porównują swoje propozycje, ustalając właściwe/ostateczne rozwiązanie.
  - Następnie uczniowie gromadzą się w czwórkach i w podobny sposób konfrontują swoje stanowiska, a zebrane rozwiązania zapiszą na nowej kartce, podejmując decyzję, które rozwiązanie jest poprawne.
  - W dalszej części uczniowie połączą się w jeszcze liczniejsze grupy, aż wobec postawionego problemu wypowie się cała klasa. Wszystkie uzgodnione na forum całej klasy odpowiedzi wraz z argumentami zostaną zapisane na tablicy. Po wykonaniu zadania i ustaleniu wspólnie przez uczniów rozwiązania/odpowiedzi nauczyciel weryfikuje ją i w razie potrzeby uzupełnia.
3. Nauczyciel inicjuje pogadankę wśród uczniów zadając pytania: Dlaczego rzeczywista wydajność i teoretyczna wydajność są często różne? Jakie czynniki wpływają na wydajność reakcji chemicznej?
4. Uczniowie pracują w parach przy symulacji interaktywnej w medium bazowym i sprawdzają swoją wiedzę wykonując ćwiczenia załączone do medium. Nauczyciel sprawdza poprawność wykonanych zadań i ewentualnie wyjaśnia niezrozumiałe kwestie.

#### **Faza podsumowująca:**

1. Nauczyciel sprawdza wiedzę uczniów, wykorzystując pytania z e-materiału, np. polecenia do multimediu. Pyta:
  - Czym się różni wydajność rzeczywista reakcji chemicznej od wydajności teoretycznej?
  - Od czego zależy wydajność reakcji chemicznej?

#### **Praca domowa:**

Nauczyciel prosi uczniów o wykonanie ćwiczeń w zestawie ćwiczeń zawartych w e-materiale.

#### **Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania multimediu:**

Symulacja interaktywna może być wykorzystana przez uczniów podczas przygotowywania się do zajęć i podczas podsumowania wiadomości i umiejętności.

#### **Materiały pomocnicze:**

Polecenia podsumowujące (nauczyciel przed lekcją zapisuje je na niewielkich kartkach):

- Czym się różni wydajność rzeczywista reakcji chemicznej od wydajności teoretycznej?

- Od czego zależy wydajność reakcji chemicznej?