

## Chemia sztucznych ogni

Tłumaczenie Marta Tondera

### Skład o sztucznych ogni

Fajerwerki są głównie związane z pirotechniką – składają się z mieszaniny substancji dających efekty przez wytwarzanie ciepła, światła, dźwięku, gazu lub dymu lub ich kombinacji w samowystarczalnych reakcjach egzotermicznych, które nie potrzebują dodatkowego tlenu. Sztuczne ognie składają się zazwyczaj z pięciu głównych składników.

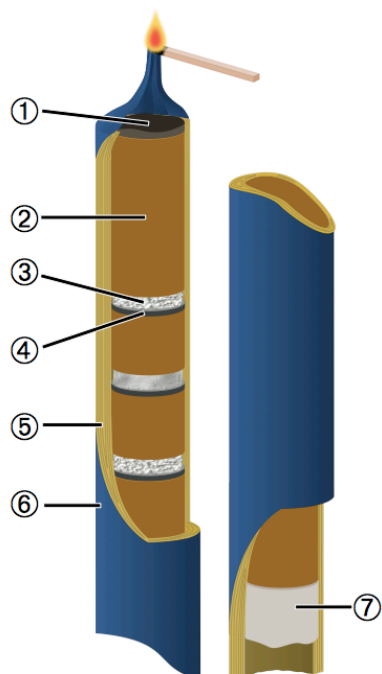
1. Paliwo które pozwala tzw. “gwieździe” na spalanie, zwykle oparte na metalu lub metaloidach lub czarnym prochu, formie prochu strzelniczego (mieszanina siarki, węgla i azotanu potasu);
2. Utleniacz który dostarcza (zazwyczaj) tlen do spalania paliwa. Najczęściej jest to nadchloran ( $\text{ClO}_4^-$ ), chloran ( $\text{ClO}_3^-$ ), azotan ( $\text{NO}_3^-$ ), ale można także użyć chromianów ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ) lub tlenków (np.  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{ZnO}_2$ );
3. Barwniki, zwykle chlorki odpowiednich metali takich jak stront, sód czy miedź (patrz Tabela 1);
4. Spoiwo które łączy ładunek, np. guma lub żywica.
5. Donor chloru potrzebny do reakcji z nadającymi kolor metalami dla wzmocnienia intensywności koloru. Niespodziewanie w metalach grupy drugiej takich jak stront uważa się że to chlorek metalu (I) (np.  $\text{SrCl}$ ) a nie powszechny dwuwartościowy jon (np.  $\text{SrCl}_2$ ) nadaje kolor.

---

Materiał pomocniczy do:

Harrison T, Shallcross D (2011) Dym w powietrzu: jak ognie sztuczne wpływają na jakość powietrza. *Science in School* **21**.

[www.scienceinschool.org/2011/issue21/fireworks/polish](http://www.scienceinschool.org/2011/issue21/fireworks/polish)



*Wewnętrzna budowa fajerwerku typu “Rzymska Świeca”. (1) Zapalnik łatwopalny (proszek wybuchowy); (2) Ładunek opóźniający (wolno spalający się proszek); (3) Gwiazdka pirotechniczna (metal o kolorowym płomieniu); (4) Ładunek odrzutowy (do uwolnienia gwiazdki z rurki); (5) Kartonowa rurka; (6) Papierowa owijka (służy również jako zabezpieczenie zapalnika); (7) zapieczętowanie*  
 Obraz na licencji public domain; źródło zdjęcia: Wikimedia Commons



Materiał pomocniczy do:

Harrison T, Shallcross D (2011) Dym w powietrzu: jak ognie sztuczne wpływają na jakość powietrza. *Science in School* **21**.  
[www.scienceinschool.org/2011/issue21/fireworks/polish](http://www.scienceinschool.org/2011/issue21/fireworks/polish)

*Gwiazdki pirotechniczne, kolejno od lewej: pompowane, cięte, toczone*

*Zdjęcie dzięki uprzejmości Nicolaj Ma; źródło zdjęcia: Wikipedia*

| Pierwiastki chemiczne | Zastosowanie w fajerwerkach                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Al                    | Glinu używa się do tworzenia srebrnych oraz białych iskier lub płomieni. Jest składnikiem zimnych ogni i często jest stopiony z magnezem w magnal, aby nadać fajerwerkom dodatkowej jasności                                                                                            |
| Ba                    | Sole baru są używane aby uzyskać zielone fajerwerki (np. chlorek baru, $\text{BaCl}_2$ ), a węglan baru jest dodawany jako bufor kwasów.                                                                                                                                                |
| C                     | Węgiel jest jednym z głównych składników czarnego prochu używanego jako paliwo fajerwerków. Powszechne formy węgla jako paliwa to m.in. węgiel, cukier i skrobia.                                                                                                                       |
| Ca                    | Sole wapnia są używane do pogłębienia kolorów, a np. chlorek wapnia ( $\text{CaCl}_2$ ) daje pomarańczowy płomień                                                                                                                                                                       |
| Cl                    | Związki chloru są ważną częścią wielu utleniaczy. Niektóre sole metali używanych jako barwniki to chlorki.                                                                                                                                                                              |
| Cs                    | Sole cezu ułatwiają utlenianie substancji zawartych w fajerwerkach. Związki takie jak azotan cezu ( $\text{CsNO}_3$ ) dają kolor indygo, azotan jest używany także w kompozycjach z czarnym światłem, ponieważ nie zawiera sodu czy potasu, które wydzielają widmo światła widzialnego. |
| Cu                    | Miedź daje niebiesko-zielone efekty, a halogenki miedzi takie jak chlorek miedzi ( $\text{CuCl}_2$ ) są używane przy odcieniach niebieskiego                                                                                                                                            |
| Fe                    | Żelazo produkuje iskry. Temperatura spalania cząsteczek metalu ma wpływ na kolor powstałych iskier.                                                                                                                                                                                     |
| K                     | Azotan potasu ( $\text{KNO}_3$ ), chloran potasu ( $\text{KClO}_3$ ) i nadchloran potasu ( $\text{KClO}_4$ ) są bardzo ważnymi utleniaczami. Jony potasu dają także fioletowo-różowy kolor.                                                                                             |
| Li                    | Sole litu dodają umiarkowany czerwony kolor. Węglan litu ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) jest powszechnie stosowanym barwnikiem.                                                                                                                                                           |
| Mg                    | Magnez spala się bardzo jasnym białym płomieniem, więc jest dodawany dla uzyskania białych iskier lub poprawy „błyskotliwości” fajerwerków. Ponieważ zazwyczaj pokrywa się on warstwą tlenku magnezu, używa się go w formie stopu magnalu.                                              |
| Na                    | Związki sodu dają żółty kolor, przykładem może być azotan sodu ( $\text{NaNO}_3$ ). Jednakże, kolor ten jest często tak jasny, że przysłania inne, mniej intensywne koloru takie jak te wyprodukowane przez sole potasu.                                                                |

Materiał pomocniczy do:

Harrison T, Shallcross D (2011) Dym w powietrzu: jak ognie sztuczne wpływają na jakość powietrza. *Science in School* **21**.

[www.scienceinschool.org/2011/issue21/fireworks/polish](http://www.scienceinschool.org/2011/issue21/fireworks/polish)

| Pierwiastki chemiczne | Zastosowanie w fajerwerkach                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| O                     | Fajerwerki zawierają utleniacze które są substancjami produkującymi tlen zasilający spalanie. Utleniacze to zwykle azotany, chlorany lub nadchlorany. Czasem ten sam związek daje i tlen i kolor, na przykład $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ daje czerwony kolor oraz tlen podtrzymujący spalanie. |
| P                     | Biały fosfor spala się samoistnie na powietrzu i odpowiada również za efekt świecenia w ciemności. Może być użyty jako składnik paliwa do fajerwerków.                                                                                                                                         |
| S                     | Siarka jest składnikiem czarnego prochu i znajduje się również w paliwie fajerwerku.                                                                                                                                                                                                           |
| Sb                    | Antymon nadaje fajerwerkom efekt połysku.                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Sr                    | Sole strontu takie jak $(\text{SrCO}_3)$ dają intensywnie czerwony kolor. Związki strontu są także ważne przy stabilizowaniu mieszaniny w fajerwerku.                                                                                                                                          |
| Ti                    | Tytan może zostać spalony w formie proszku lub płatków i wytwarza długotrwałe srebrne iskry.                                                                                                                                                                                                   |
| Zn                    | Cynk jest niebieskawo-białym metalem który jest używany do wytworzenia efektów dymnych nie tylko w fajerwerkach ale i w innych efektach pirotechnicznych.                                                                                                                                      |

Tabela 1: Wykorzystanie pierwiastków chemicznych

Wzorowane na <http://en.wikipedia.org/wiki/Firework> z dnia 13.09.2011

W zależności od dokładnego składu fajerwerków, gaz, dym i kurz zawiera siarkę lub niskie stężenia potencjalnie szkodliwych związków, prowadząc do zanieczyszczenia powietrza. Sztuczne ognie które produkują duże ilości dymu są bardziej szkodliwe niż na przykład bezdymne fajerwerki przeznaczone do użytku w pomieszczeniach.

### Podziękowania

Jesteśmy wdzięczni za pomoc prof. Jacqueline Akhavan, dr. Alex Contini i dr. James Padfield z Centrum Chemii Obronnej (Centre for Defence Chemistry) w Cranfield University w Anglii.

### Substancje zanieczyszczające pochodzące z fajerwerków

**Tlenki siarki** ( $\text{SO}_x$ ) takie jak dwutlenek ( $\text{SO}_2$ ) siarki czy jony siarczanowe ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) powstają przy spalaniu związków siarki i już w powietrzu są utlenione to kwasu siarkowego ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Te tlenki pochodzą z fajerwerków, ale również z wulkanów i wielu procesów przemysłowych – głównie z elektrowni. Prowadzą do utworzeniu pyłu w powietrzu: na cząsteczkach powstałego kwasu siarkowego mogą kondensować się krople wody prowadząc do powstania kwaśnych deszczy.

---

Materiał pomocniczy do:

Harrison T, Shallcross D (2011) Dym w powietrzu: jak ognie sztuczne wpływają na jakość powietrza. *Science in School* **21**.

[www.scienceinschool.org/2011/issue21/fireworks/polish](http://www.scienceinschool.org/2011/issue21/fireworks/polish)



**Tlenki azotu** ( $\text{NO}_x$ ) takie jak tlenek azotu ( $\text{NO}$ ), dwutlenek azotu ( $\text{NO}_2$ ) czy azotan ( $\text{NO}_3^-$ ) powstają przy spalaniu w wysokich temperaturach, nie tylko w fajerwerkach, ale także w silnikach pojazdów i elektrowniach. Dwutlenek azotu to czerwono-brązowy toksyczny gas o charakterystycznym ostrym, gryzącym zapachu, podobnym do chloru. Jest to jeden z głównych gazów zanieczyszczających powietrze oraz powodujących powstawanie ozonu troposferycznego (patrz Harrison i Shallcross, 2011).



*Nitrogen dioxide*

*Zdjęcie dzięki uprzejmości Fabexplosive; źródło zdjęcia: Wikimedia Commons*

**Tlenek węgla** ( $\text{CO}$ ) to bezbarwny, bezzapachowy i silnie trujący gas powstały przy spalaniu niecałkowitym, główni w pojazdach zasilanych benzyną. Sztuczne ognie nie powinny wytwarzać go w ilościach większych niż śladowe, chyba że fajerwerk jest źle skonstruowany lub mikstura jest źle umieszczona i nie ma dostępu do tlenu.

Wiele **lotnych związków organicznych** jest wypuszczonych do atmosfery z ognisk – tradycyjnie towarzyszących angielskiemu świętu Guy Fawkes Night. Palenie materiałów powstałych z roślin wytwarza wiele kwasów organicznych (np. kwas metanowy  $\text{HCOOH}$ ), nitryli takich jak acetonitryl ( $\text{CH}_3\text{CN}$ ), aldehydów (np. etanal  $\text{CH}_3\text{CHO}$ ), ketonów (np. propanon  $\text{CH}_3\text{C(O)CH}_3$ ) i alkoholi takich jak metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ). Fajerwerki same w sobie zawierają związki takie jak szczawian sodu (nadający żółty kolor), a w rezultacie w cząsteczkach aerozolu można znaleźć aniony szczawianu ( $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ ).

**Cząstki stałe** (ang. Particulate matter, PM) to cząsteczki stałe (bądź ciekłe) zawieszone w gazie. Klasyfikuje się je według rozmiaru:  $\text{PM}_{10}$  (średnica  $10\text{ }\mu\text{m}$  lub mniej),  $\text{PM}_{2.5}$  (średnica  $2.5\text{ }\mu\text{m}$  lub mniej),  $\text{PM}_1$  ( $1\text{ }\mu\text{m}$  lub mniej) i ultradrobne ( $0.1\text{ }\mu\text{m}$  lub mniej). Spalanie fajerwerków wytwarza wszystkie rodzaje cząstek, ale głównie mniejsze cząsteczki (np.  $\text{PM}_{2.5}$ ) sadzy, podczas gdy ogniska dają większe cząsteczki. PM powstają również w przemyśle budowlanym oraz pochodzą z przyrody np. pyłek kwiatowy, sól morską lub niesione wiatrem cząstki gleby. Zwiększony poziom tych cząstek powoduje choroby układu krążenia i układu oddechowego; mniejsze cząsteczki są wyjątkowo

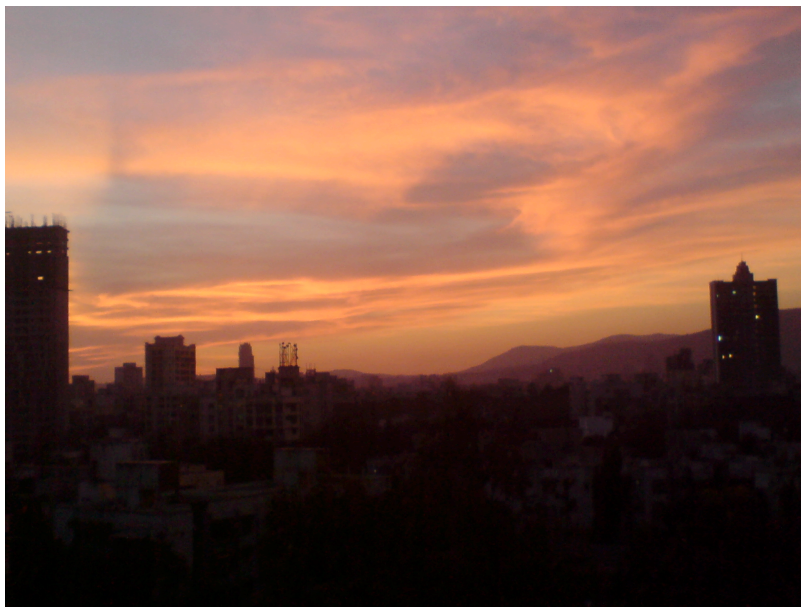
---

Materiał pomocniczy do:

Harrison T, Shallcross D (2011) Dym w powietrzu: jak ognie sztuczne wpływają na jakość powietrza. *Science in School* **21**.

[www.scienceinschool.org/2011/issue21/fireworks/polish](http://www.scienceinschool.org/2011/issue21/fireworks/polish)

niezdrowe, ponieważ mogą wnikać głębiej w układ oddechowy. PM wpływają również na klimat: cząsteczki sadzy ocieplają klimat, a cząsteczki odbijające chłodzą go.



Piękny zachód słońca w Bombaju w Indiach wywołany przez obecność cząstek stałych

*Zdjęcie dzięki uprzejmości Bm1996; źródło zdjęcia: Wikimedia Commons*

**Toksyczne metale** takie jak ołów ( $\text{Pb}^{2+}$ ) i miedź ( $\text{Cu}^{2+}$ ) z fajerwerków także mogą dostać się do powietrza.

## Referencje

Harrison T, Shallcross D (2011) A hole in the sky. *Science in School* **17**: 46-53.  
[www.scienceinschool.org/2011/issue17/ozone](http://www.scienceinschool.org/2011/issue17/ozone)

---

Materiał pomocniczy do:

Harrison T, Shallcross D (2011) Dym w powietrzu: jak ognie sztuczne wpływają na jakość powietrza. *Science in School* **21**.  
[www.scienceinschool.org/2011/issue21/fireworks/polish](http://www.scienceinschool.org/2011/issue21/fireworks/polish)