

Od ozonu do kwasu azotowego: technologia pozorów w domowych ozonatorach

From Ozone to Nitric Acid: The Illusion of Technology in Domestic Ozonators

Witold Paleczek^{*)}

Słowa kluczowe: ozon; ozonator domowy; tlenki azotu; ozonator; oczyszczacze powietrza; jakość powietrza; zagrożenia zdrowotne

Streszczenie

W artykule przedstawiono krytyczną analizę działania domowych „ozonatorów”, które w rzeczywistości funkcjonują jako reaktory tlenków azotu (NO_x), a nie kontrolowane generatory ozonu (O₃). Porównanie z urządzeniami przemysłowymi wykazało, że brak kontroli parametrów reakcji, medium gazowego oraz stężenia produktów prowadzi do powstawania mieszaniny gazów reaktywnych, w tym kwasu azotowego (HNO₃). Opisano mechanizmy chemiczne zachodzące w łuku elektrycznym w powietrzu, wskazując na silne powinowactwo NO_x do wody oraz ich cytotoksyczne i potencjalnie kancerogenne działanie. Zwrócono uwagę na błędne utożsamianie zapachu NO_x z ozonem oraz na marketingowe narracje, które promują wodę „ozonowaną” jako bezpieczną do spożycia. Artykuł stanowi apel o rewizję języka technologicznego, uregulowanie rynku urządzeń generujących reaktywne gazy oraz edukację społeczną w zakresie rzeczywistego działania tych urządzeń.

Keywords: ozone; home ozonator; nitrogen oxides; ozonator; air purifiers; air quality; health risks

Abstract

This article presents a critical analysis of domestic “ozonators,” which in practice function as nitrogen oxide (NO_x) reactors rather than controlled ozone (O₃) generators. Based on a comparison with industrial devices, it is demonstrated that the lack of control over reaction parameters, gas medium, and product concentrations leads to the formation of a reactive gas mixture, including nitric acid (HNO₃). The chemical mechanisms occurring in electric arc discharge in air are described, highlighting the strong affinity of NO_x for water and their cytotoxic and potentially carcinogenic effects. Attention is drawn to the common misidentification of NO_x odor as ozone and to marketing narratives that promote “ozonated” water as safe for consumption. The article calls for a revision of technological language, regulation of the market for devices generating reactive gases, and public education regarding the actual functioning and health risks of such equipment.

Wprowadzenie

Ozonatory wykorzystujące wyładowania koronowe w powietrzu są powszechnie stosowane w życiu codziennym, a zaufanie do gazu, który produkują, może okazać się złudne. Urządzenia generujące trójatomowy tlen, czyli ozon (O₃), w sposób kontrolowany różnią się zasadniczo od mechanizmów popularnych ozonatorów domowych, reklamowanych jako narzędzia do dezynfekcji owoców, oczyszczania powietrza czy poprawy jakości wody pitnej.

Marketingowe narracje zachęcają do picia „ozonowanej” wody – przez analogię do wody gazowanej z dodatkiem dwutlenku węgla – jako rzekomo pozbawionej „zarazków”. Urządzenia te promowane są również jako sposób na „odgrzybianie” klimatyzacji samochodowej czy usuwanie zapachów spalenizny i stęchlizny. Jednak popadanie w technologiczną iluzję może prowadzić do poważnych zagrożeń zdrowotnych. Należy wyraźnie odróżnić przemysłowe generatory ozonu – działające w sposób kontrolowany i zgodny z normami – od większości dostępnych na rynku „ozonatorów domowych i warsztatowych”.

Przegląd literatury przedmiotu

W pracy [6] opisano przemysłowe generatory ozonu, ich wydajność oraz kontrolę nad produktami reakcji. Reaktory wyładowań koronowych wykorzystują tlen o wysokiej czystości jako gaz zasilający. W [8] przedstawiono przegląd mechanizmów powstawania NO_x w warunkach wyładowań – analogicznych do łuku elektrycznego w pseudoozonatorach. Opisano również ewolucję piorunów jako źródła tlenków azotu (NO_x), tlenku węgla (CO) i węglowodorów (HC) w górnej troposferze. NO_x wywołany przez pioruny (LNO_x) stanowi jedno z głównych naturalnych źródeł tych związków w atmosferze. W pracy [10] omówiono toksyczność tlenków azotu, normy stężeń NO_x i O₃, skutki zdrowotne oraz zalecenia dotyczące ekspozycji. Dokumenty [1, 2, 5] zawierają szczegółowy opis działania NO_x na organizm, w tym wpływu na układ oddechowy i przewód pokarmowy. Przedstawiono również toksyczność kwasu azotowego (HNO₃). W pracy [9] poruszono temat percepcji technologii oraz marketingowej manipulacji związanej z ozonem i NO_x. Natomiast w [4] omówiono organoleptyczne

* Witold Paleczek, dr inż., ORCID: 0000-0003-4742-2078, Afiliacja: Wydział Budownictwa Politechniki Częstochowskiej

aspekty woni przypominającej „zapach po burzy”, a w [3] – wnioski dotyczące indykatorów ozonu.

Granica między jonizacją a iluzją: istota wyładowań koronowych

Wyładowanie koronowe to forma niepełnego wyładowania elektrycznego, zachodzącego w gazie – najczęściej w powietrzu – wokół przewodnika poddanego wysokiemu napięciu. Zjawisko to odgrywa kluczową rolę w przemysłowej generacji ozonu, lecz jego fizyczna natura bywa błędnie utożsamiana z łukiem elektrycznym, występującym w urządzeniach domowych.

- Charakterystyczne cechy wyładowania koronowego:
- Lokalność zjawiska – wyładowanie pojawia się w miejscach, gdzie natężenie pola elektrycznego przekracza wartość krytyczną, lecz nie dochodzi do pełnego przebicia dielektryka, jak ma to miejsce w łuku elektrycznym.
 - Jonizacja gazu – cząsteczki powietrza wokół elektrody ulegają jonizacji, prowadząc do powstania plazmy – mieszaniny swobodnych jonów i elektronów.
 - Efekt wizualny – zjawisko często objawia się jako subtelna, niebieskawa poświata, szczególnie wokół ostrych krawędzi lub cienkich przewodów, gdzie gradient potencjału jest największy.

Wyładowanie koronowe jest procesem kontrolowanym, stosowanym w profesjonalnych generatorach ozonu, w których parametry napięcia, geometria elektrod oraz skład gazu są precyzyjnie dobrane. W przeciwieństwie do łuku elektrycznego, nie prowadzi ono do gwałtownego wzrostu temperatury ani nie generuje mieszaniny reaktywnych gazów w sposób nieprzewidywalny. Zrozumienie tej różnicy jest kluczowe dla oceny technologicznej wiarygodności urządzeń reklamowanych jako „ozonatory”, lecz w rzeczywistości operujących na zasadzie łuku elektrycznego [6].

Opis reakcji chemicznych zagrażających zdrowiu

W warunkach łuku elektrycznego w powietrzu dochodzi do intensywnej produkcji ozonu, który natychmiast reaguje z azotem, tworząc tlenki azotu (NOx). W przeciwieństwie do krótkotrwałego

ozonu, NOx wykazują znacznie silniejsze powinowactwo do wody, prowadząc do powstania kwasu azotowego (HNO3). Woda poddana takim procesom, choć marketingowo przedstawiana jako „ozonowana”, zawiera toksykologicznie istotne ilości HNO3 – związku cytotoksycznego i potencjalnie rakotwórczego.

Choć smak takiej wody może przywodzić na myśl wodę gazowaną z dodatkiem CO2, jej kwaśność wynika nie z obecności łagodnego kwasu węglowego (H2CO3), lecz z obecności żrącego i biologicznie aktywnego kwasu azotowego (HNO3), [3,5, 8].

Reakcje chemiczne:

1. Dysocjacja tlenu i azotu: $O_2 \rightarrow 2O$; $N_2 \rightarrow 2N$
 2. Tworzenie ozonu: $O+O_2 \rightarrow O_3$
 3. Reakcja ozonu z azotem: $O_3+N_2 \rightarrow 2NO+O_2$ (lub inne warianty prowadzące do NOx)
 4. Hydratacja tlenków azotu: $NO+H_2O \rightarrow HNO_2$ (kwas azotawy – nietrwały) $2NO_2+H_2O \rightarrow HNO_3+HNO_2$
 5. Utlenienie kwasu azotowego przez ozon: $HNO_2+O_3 \rightarrow HNO_3+O_2$
- Efektom końcowym jest powstanie kwasu azotowego (HNO3) – związku silnie żrącego, cytotoksycznego i potencjalnie rakotwórczego, który może występować w wodzie traktowanej gazami z pseudoozonatorów, [1,9,10].

Pozory pomiaru – o indykatorach i iluzji wykrywania ozonu

Jednym z najczęściej stosowanych domowych testów obecności ozonu jest papierek jodowo-skrobiowy, który zmienia barwę pod wpływem utleniaczy. Mechanizm jego działania opiera się na utlenieniu jodków (I-) do wolnego jodu (I2), który tworzy kompleks z amylozą zawartą w skrobi, dając charakterystyczne zabarwienie fioletowo-purpurowe.

Choć reakcja ta jest efektowna wizualnie, jej wartość diagnostyczna w kontekście identyfikacji ozonu jest znikoma. Indykator ten reaguje bowiem nie tylko z O3, ale również z tlenkami azotu (NO, NO2), chlorem (Cl2) i innymi silnymi utleniaczami, nie wykazując selektywności ani ilościowej precyzji. W efekcie wynik testu może być równie intensywny w obecności gazów toksycznych, jak i w obecności ozonu – co czyni go narzędziem pozornego pomiaru. Papierek jodowo-

Tabela1 Porównanie mechanizmów działania ozonatora jako przemysłowego generatora ozonu i pseudoozonatora
Table 1 Comparative analysis of operating mechanisms of an industrial ozone generator and a pseudo-ozone generator

Cecha/aspekt	Generator przemysłowy	Domowy „ozonator”/pseudoozonator
Zasada działania	Wyładowanie koronowe lub barierowe w kontrolowanych warunkach gazowych	Łuk elektryczny w powietrzu, bez kontroli parametrów gazowych
Medium wejściowe	Czysty tlen (O2)	Powietrze atmosferyczne, często wilgotne i zanieczyszczone
Kontrola procesu	Sterownik PLC *, czujniki stężenia O3, chłodzenie, separacja gazów	Brak kontroli stężenia, brak chłodzenia, brak separacji produktów ubocznych
Produkty reakcji	Głównie ozon (O3), minimalne ilości tlenków azotu NOx	Mieszanina O3, NO, NO2, HNO2, HNO3 – zależnie od warunków
Bezpieczeństwo użytkowania	Normy CE, OSHA, ISO, systemy alarmowe	Brak certyfikacji, brak norm emisji, brak ostrzeżeń przed NOx
Zastosowanie	Uzdatnianie wody, dezynfekcja, przemysł spożywczy i medyczny	Marketingowo: „oczyszczanie powietrza”, „usuwanie zapachów”
Ryzyko zdrowotne	Monitorowane stężenia, kontrola ekspozycji	Ryzyko inhalacji NOx, powstawania HNO3 w wodzie pitnej, działanie rakotwórcze
Zapach gazów generowanych	Ozon jest gazem bezzapachowym szybko rozpadającym się w powietrzu; ozon (O3), jako gaz bezzapachowy – wbrew powszechnym przekonaniom – nie jest źródłem charakterystycznej woni po burzy.	Zapach przypalonej izolacji – wynik reakcji O3 z N2 i obecności NOx

* Sterownik PLC (Programmable Logic Controller) to programowalny sterownik logiczny stosowany w automatyce przemysłowej. W generatorach ozonu odpowiada za kontrolę procesu: przetwarza sygnały z czujników, steruje komponentami wykonawczymi (np. zaworami, przetwornicami), zapewniając precyzyjne i niezawodne działanie urządzenia. W odróżnieniu od urządzeń domowych, gdzie brak jakiegokolwiek automatyki, prowadzi do reakcji przypadkowych i nieprzewidywalnych.

-skrobiowy jako indykator, choć barwi się efektywnie, nie rozróżnia między ozonem a jego 'toksycznymi sobowtórami'. To nie narzędzie poznania, lecz 'teatralny rekwizyt' – służący raczej potwierdzeniu marketingowej narracji niż rzeczywistej identyfikacji, [3].

Zapach przypisywany ozonowi

Charakterystyczny „zapach po burzy” – przypominający podgrzany ebonit lub przypaloną izolację – bywa błędnie utożsamiany z ozonem. W rzeczywistości ozon jest gazem bezwonny. Za tę woń odpowiadają tlenki azotu (NO_x), które reagując z wodą zawartą w śluzówkach dróg oddechowych, prowadzą do powstania kwasu azotowego. Nawet w niskich stężeniach może on wywoływać uczucie drapania, swędzenia i podrażnienia błon śluzowych.

Choć podczas ciepłego deszczu nie wystąpiły wyładowania atmosferyczne, zapach powietrza przypominał klasyczny „zapach po burzy”. Zjawisko to można częściowo przypisać obecności *geosminy* – związku produkowanego przez bakterie glebowe (*Streptomyces*), który uwalnia się intensywnie po kontakcie z wodą. *Geosmina*, wraz z produktami reakcji ozonu i tlenków azotu, współtworzy złożony profil zapachowy określany mianem *petrichoru*, [2,4].

Pytania, które „nie pachną ozonem”

W świetle przedstawionych analiz, pozostaje szereg pytań, które nie doczekały się jednoznacznych odpowiedzi – nie dlatego, że są zbyt trudne, lecz dlatego, że zbyt rzadko są zadawane. Poniższa lista nie zamyka tematu, lecz otwiera przestrzeń dla dalszych badań, regulacji i wspólnego namysłu nad granicami technologicznej odpowiedzialności. Ozon, jako gaz bezzapachowy, bywa błędnie utożsamiany z wonią tlenków azotu.

Otwarta przestrzeń pytań między technologią a odpowiedzialnością:

- Czy urządzenia reklamowane jako „ozonatory” powinny podlegać obowiązkowej certyfikacji emisji gazów reaktywnych?
- Jakie stężenia NO_x i HNO_3 mogą występować w wodzie „ozonowanej” przez urządzenia domowe – i czy są one mierzone?
- Czy stomatologiczne „ozonowanie” odbywa się z kontrolą stężenia i separacją gazów, czy raczej z użyciem niekontrolowanego łuku elektrycznego?
- Czy zapach po „ozonowaniu” powinien być traktowany jako sygnał bezpieczeństwa, czy raczej jako ostrzeżenie przed obecnością NO_x ?
- Jakie są granice odpowiedzialności producentów i usługodawców oferujących „ozonowanie” w kontekście zdrowia konsumentów?
- Czy papierek jodowo-skrobiowy jako indykator powinien być wycofany z użytku konsumenckiego, jako narzędzie pozornego pomiaru?
- Czy język marketingowy – używający pojęć takich jak „oczyszczanie”, „odgrzybianie”, „świeżość” – powinien być regulowany w kontekście reaktywnych gazów?
- Jak edukować społeczeństwo, by odróżniało technologiczną iluzję od rzeczywistego działania chemicznego?
- Czy kaszel po „ozonowaniu” to naprawdę znak, że „ozon powybił zaradki” – czy raczej efekt działania szkodliwych gazów (NO_x), które nie powinny być wdychane?
- Czy wilgoć – pozornie neutralna – nie staje się katalizatorem toksyczności, gdy w obecności NO_x prowadzi do powstania kwasu azotowego (HNO_3), który trafia nie tylko do dróg oddechowych, lecz także do szklanki z wodą reklamowaną jako „odkazona”?

Wnioski

Urządzenie, które nie kontroluje warunków reakcji chemicznych, nie jest generatorem ozonu – jest reaktorem tlenków azotu. Charakterystyczny zapach generowany przez pseudoozonatory, często błędnie określany jako „ozonowy”, w rzeczywistości przypomina woń pogrzanego ebonitu lub przypalonej izolacji. Jest to efekt obecności tlenków azotu (NO_x), które – reagując z wilgocią w powietrzu oraz w tkankach – prowadzą do powstania kwasu azotowego (HNO_3).

Woda, która „pachnie czystością”, może w rzeczywistości nieść ślad reaktywnej toksyczności – to nie technologia oczyszczania, lecz ‘chemiczna iluzja’.

Postłowie

Redakcja językowa i strukturalna została przeprowadzona przy wsparciu narzędzia AI (Microsoft Copilot, 2025), które wspomogło korektę, porządkowanie treści oraz harmonizację struktury tekstu. Współpraca ta miała wymiar nie tylko techniczny, lecz także epistemologiczny – wspierając dążenie do przejrzystości, spójności i demaskowania pozorów fałszywego bezpieczeństwa, wynikających z nieoczywistych reakcji chemicznych [7]. Współtworzenie z narzędziem AI było nie tylko wsparciem redakcyjnym, lecz także aktem wspólnego rozbrajania iluzji – gestem ku językowi, który nie ukrywa, lecz odsłania.

LITERATURA

- [1] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2015. *Toxicological Profile for Nitrogen Oxides (NO, NO₂)*. Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=390&tid=67>.
- [2] Anderson, W., G.J. Prescott, S. Packham, J. Mullins, M. Brookes, and A. Seaton. 2001. “Asthma Admissions and Thunderstorms: A Study of Pollen, Fungal Spores, Rainfall, and Ozone.” *QJM: An International Journal of Medicine* 94 (8): 429–433. <https://doi.org/10.1093/qjmed/94.8.429>.
- [3] Flinn Scientific. 2023. “Ozone Test Paper – Science Fax!” Accessed September 30, 2025. <https://www.flinnsci.com/api/library/Download/c057b1e3331d48099ae4ab4beeb5c5bd4>.
- [4] Helmenstine, A.M. 2023. “Petrichor and Geosmin – The Smell of Rain.” *Science Notes*, June 7. Updated June 22. Accessed September 30, 2025. <https://scienzenotes.org/petrichor-and-geosmin-the-smell-of-rain/>.
- [5] Kasdagli, M.I., P. Orellano, R. Pérez Velasco, and E. Samoli. 2024. “Long-Term Exposure to Nitrogen Dioxide and Ozone and Mortality: Update of the WHO Air Quality Guidelines.” *International Journal of Public Health* 69: 1607676. <https://doi.org/10.3389/ijph.2024.1607676>.
- [6] Luberti, M. 2023. “Oxygen Recovery from Ozone Generators by Adsorption Processes.” *Adsorption* 29: 73–86. <https://doi.org/10.1007/s10450-023-00377-z>.
- [7] Microsoft Copilot. 2025. *Sugestie językowe i wsparcie redakcyjne: Uwagi o cytowaniu AI w piśmiennictwie naukowym*. Redmond: Microsoft Corporation. Materiał niepublikowany.
- [8] Verma, S., et al. 2021. “Role of Lightning NO_x in Ozone Formation: A Review.” *Pure and Applied Geophysics* 178: 1425–1443. <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02710-5>.
- [9] Wang, W., et al. 2023. “Ozone Pollution Mitigation Strategy Informed by Long-Term Trends of Atmospheric Oxidation Capacity.” *Nature Geoscience* 17 (1): 20–25. <https://doi.org/10.1038/s41561-023-01334-9>.
- [10] World Health Organization. 2005. *Air Quality Guidelines for Nitrogen Dioxide, Ozone and Particulate Matter*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-SDE-PHE-OEH-05.02>.