



Pożar śmieci wiąże się z ogromnym zanieczyszczeniem środowiska. (Fot. Tomasz Stańczak / AG)

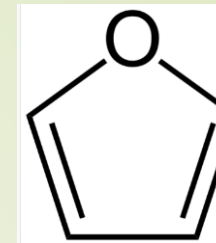
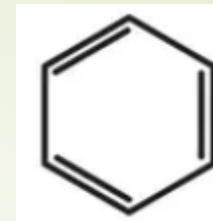
„Spalanie a dioksyny i furany – czy jest się czego bać?”

# Dlaczego mówimy o dioksynach i furanach

- **Głośnie w mediach, budzą strach!**
- Pojawiają się w nagłówkach, bo są toksyczne już w bardzo małych ilościach – **pikogramach** (bilionowych częściach grama).
- Temat wraca przy każdej planowanej spalarni; naturalnie rodzą się pytania, czy to bezpieczne dla zdrowia.
- **Celem jest oddzielenie faktów od wyobrażeń** i pokazanie, jakie zabezpieczenia są dziś standardem, dającym bezpieczeństwo.



# Co to są dioksyny i furany ?

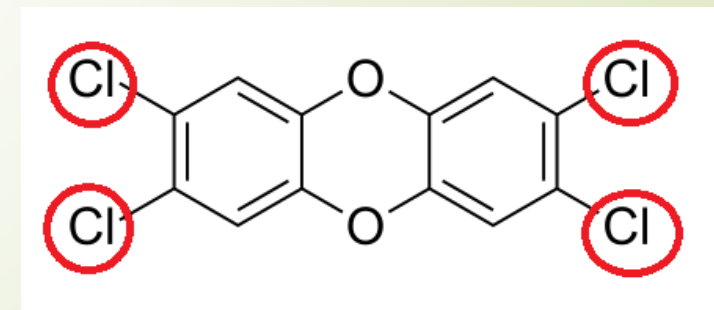
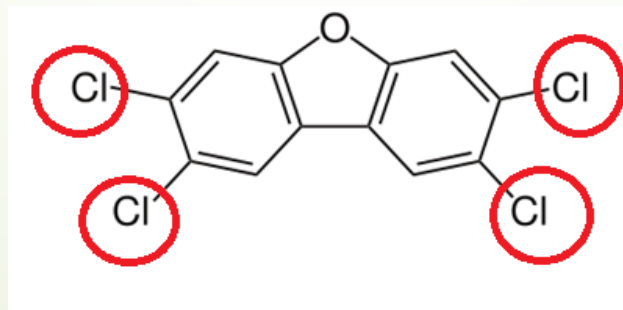
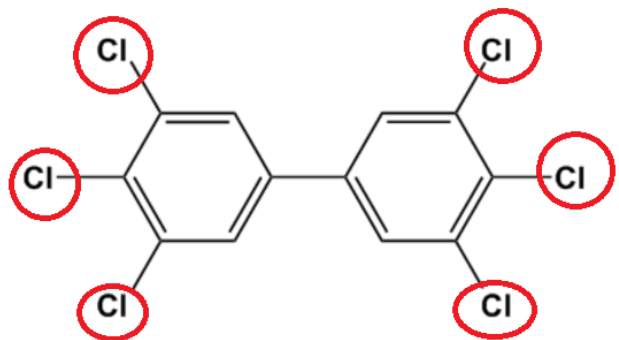


Rodzina związków chloroorganicznych , pochodnych benzenu i furanu.

**Znamy 210 wariantów - 75 dioksyn (PCDD) i 135 furanów (PCDF).**

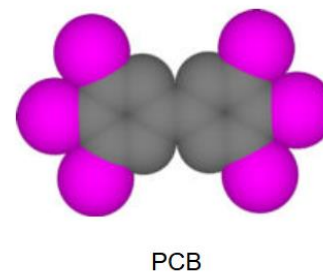
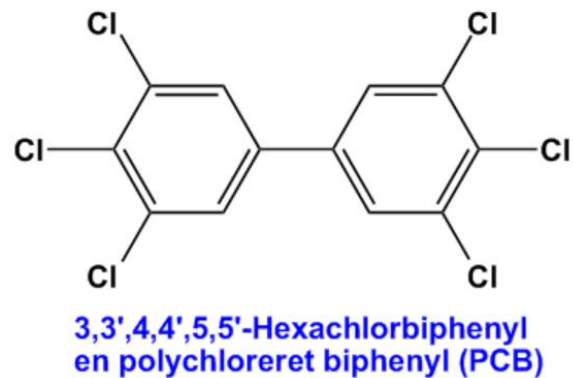
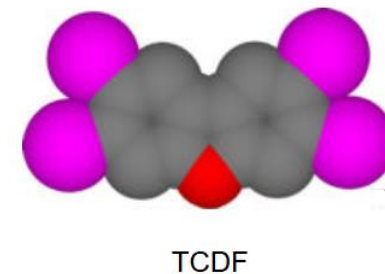
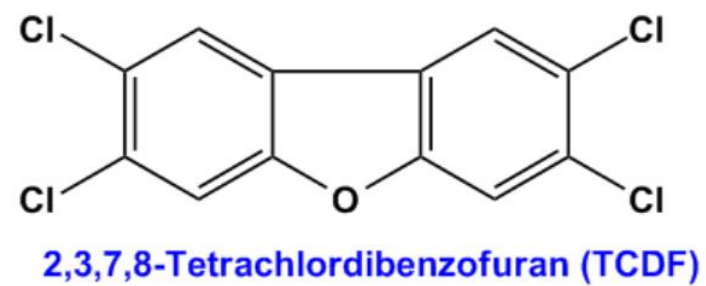
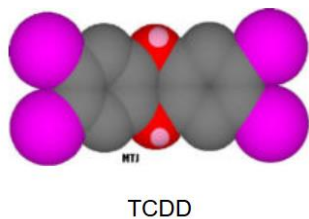
**Dioksyny** zawierające dwa pierścienie aromatyczne połączone mostkiem tlenowym z atomami chloru

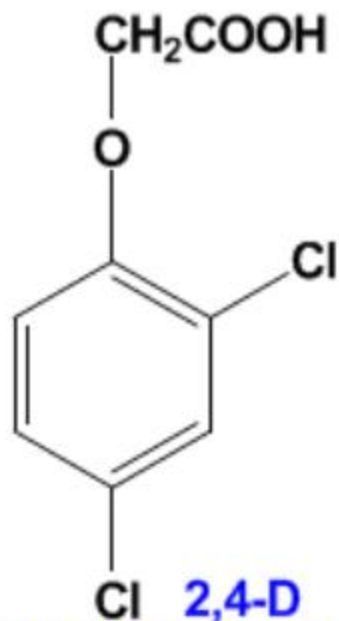
**Furany:** Podobna struktura, ale bez mostka tlenowego.



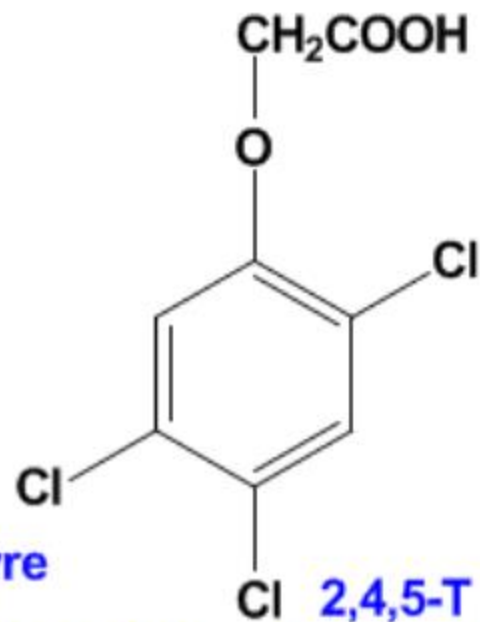


# Struktura i charakter chemiczny

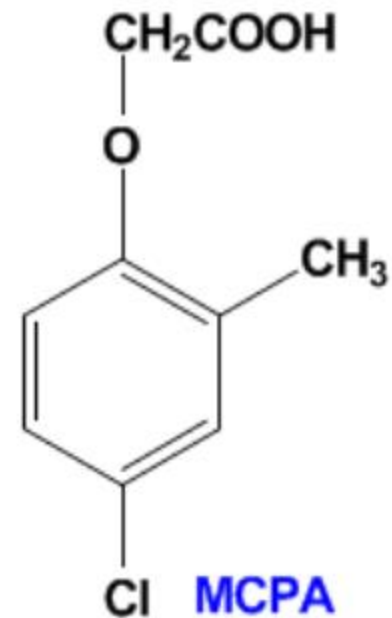




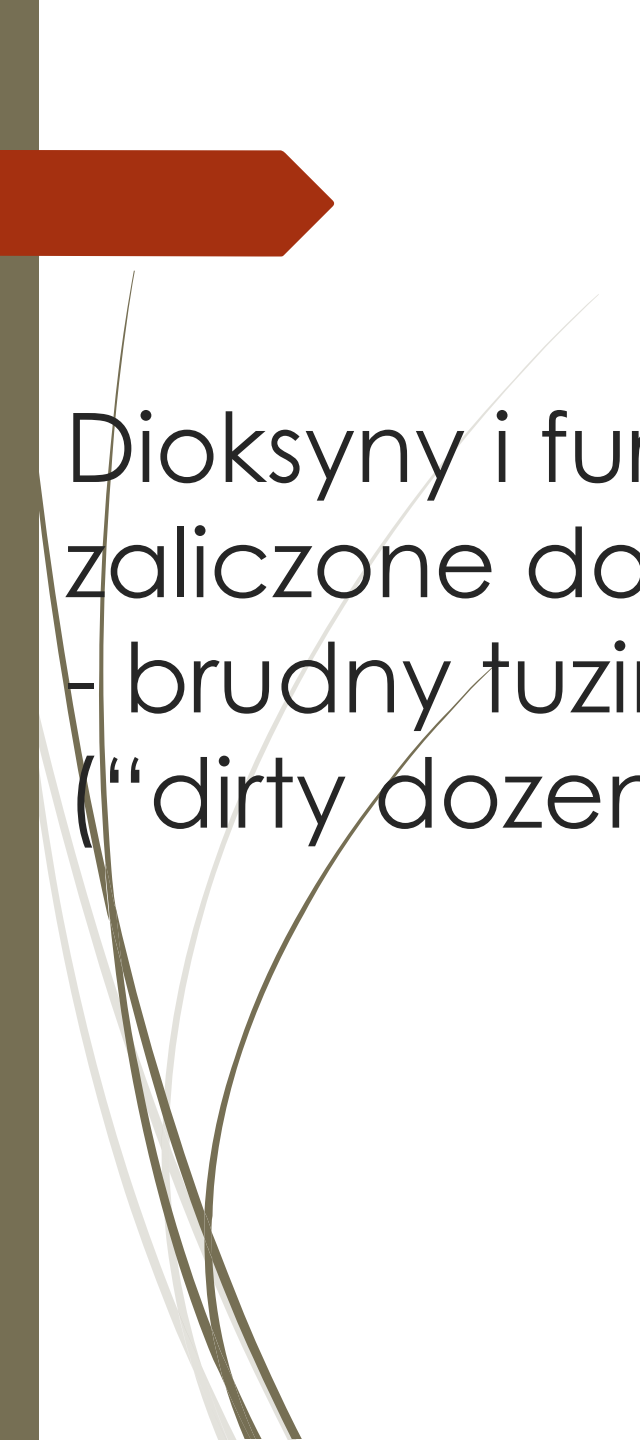
**2,4-D**  
2,4-Dichlorphenoxyeddikesyre



**2,4,5-T**  
2,4,5-Trichlorphenoxyeddikesyre



**MCPA**  
2-Methyl-4-chlorphenoxyeddikesyre



# Dioksyny i furany zaliczone do TZO - brudny tuzin ("dirty dozen")

- Bezbarwne, bez zapachu, nierozpuszczalne w wodzie, rozpuszczalne się w tłuszczach, wykazują powinowactwo do obszarów hydrofobowych białek.
- Są trwałe w środowisku (**bioakumulacja**) - długotrwale wpływają na ekosystemy i zdrowie ludzi.
- Wchodzą do łańcuchów pokarmowych.
  - Gromadzą się w ciałach zwierząt, stających się pożywieniem dla ludzi lub dostarczają produktów do produkcji żywności (mleko, jaja).
  - Im wyżej zwierzę znajduje się w łańcuchu pokarmowym, tym wyższe jest stężenie dioksyn i furanów w jego ciele.
  - Człowiek jest ostatnim ogniwem wielu łańcuchów pokarmowych.
- Mają silne działanie toksyczne.- Najgroźniejsze to:
  - 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzodioksyna – TCDD**
  - 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzofuran - TCDF**
- Należą do tzw. „brudnego tuzina (“dirty dozen”) - grupy trwałych, najniebezpieczniejszych dla środowiska związków chemicznych/ zanieczyszczeń organicznych (**TZO**), jakie stworzył człowiek.

# Jak powstają dioksyny i furany?



## Źródła emisji:

1. **Spalanie odpadów:** Niespełniające norm instalacje spalające odpady komunalne, medyczne lub przemysłowe.
2. **Przemysł chemiczny:** Produkcja herbicydów, pestycydów i papieru bielonego chlorem.
3. **Silniki spalinowe:** Emisje z pojazdów, zwłaszcza starszych modeli bez odpowiednich filtrów.
4. **Spalanie biomasy:** W piecach domowych, kominkach czy ogniskach.
5. **Pożary:** Pożary lasów, wypalanie łąk, pożary składowisk i wysypisk.

Nie są produkowane celowo

(wyjątek: badania laboratoryjne)

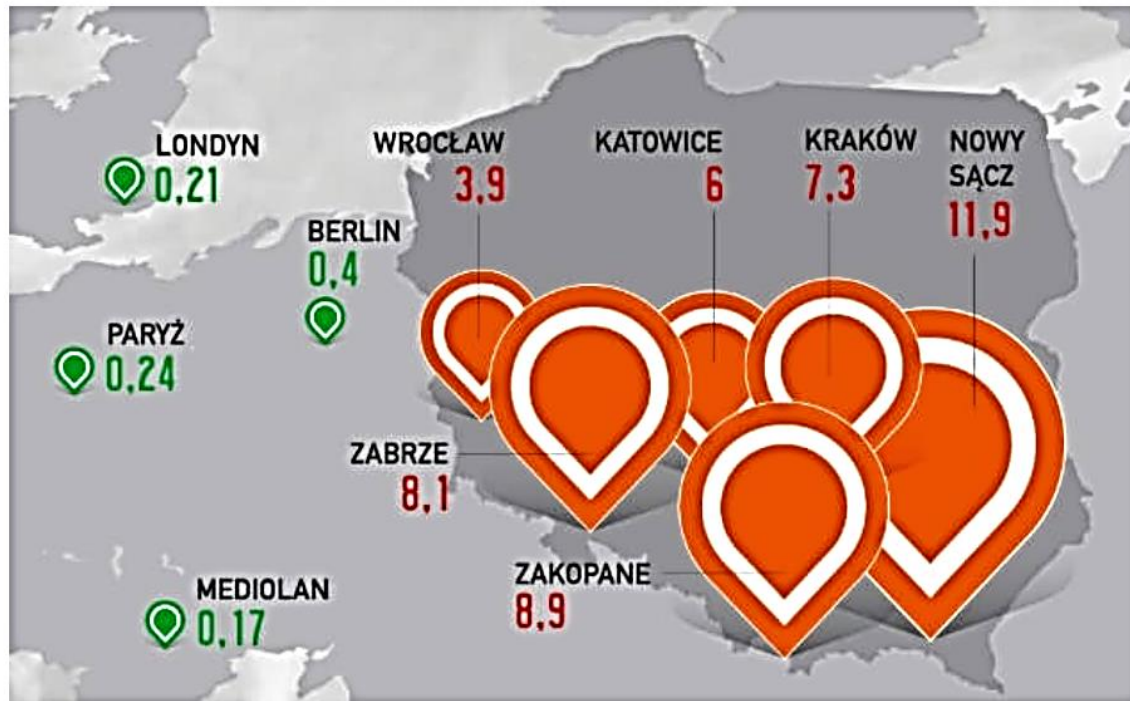
– powstają, gdy **spalany jest węgiel + chlor** przy **200–450 °C**.

**W nowoczesnej spalarni** te warunki nie powinny wystąpić, bo temperatura jest o wiele wyższa, a dym szybko się chłodzi.

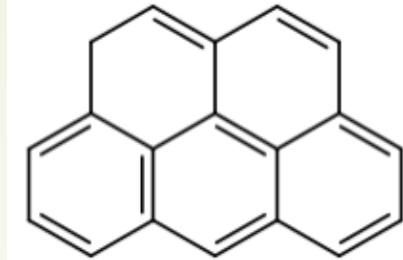


# Monitorowanie procesów spalań

Stężenie benzopirenów w powietrzu - jednym z parametrów oceny jakości powietrza



Średnioroczne stężenie benzo[a]pirenu w poszczególnych miastach UE w 2013 roku, norma – 1 ng/m³. Źródło: Dane Europejskiej Agencji Środowiska za 2013 rok.



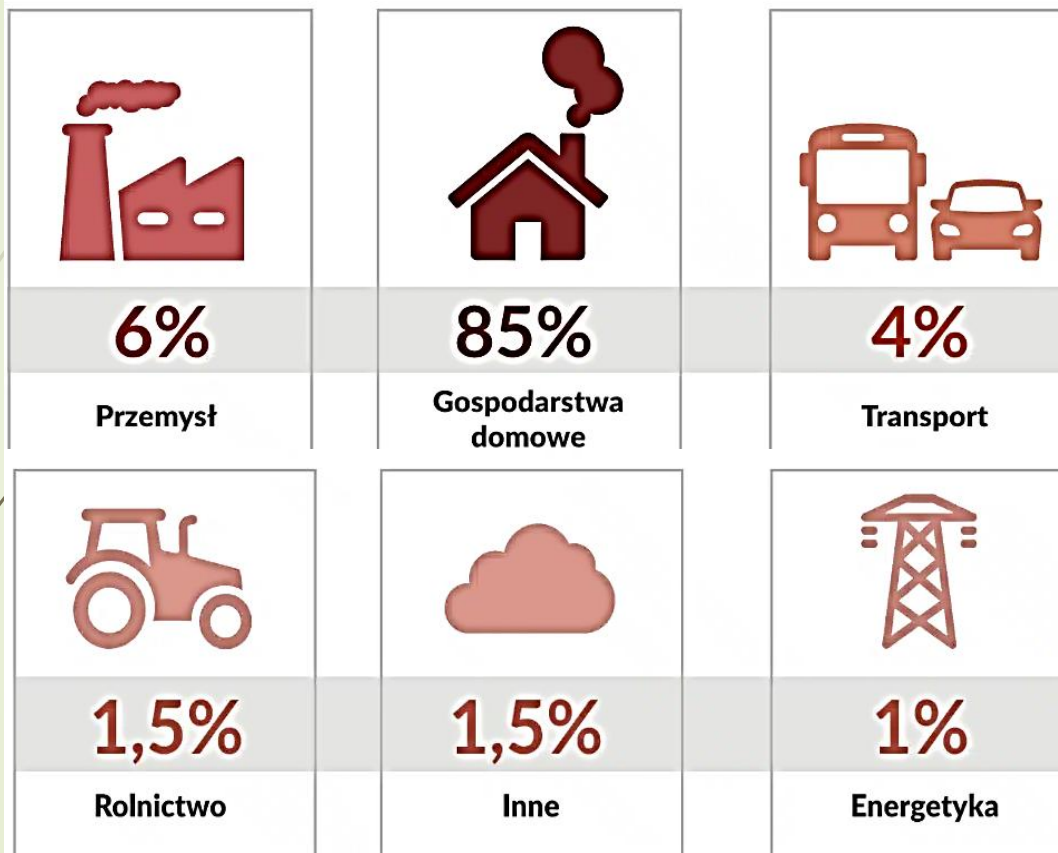
2H-benzo[cd]piren

Występują :

- w **dymie** podczas **spalania niecałkowitego** (w tym **dymie tytoniowym** ),
- w **smogu** powstającym w wyniku **niskiej emisji** – wskutek spalania **węgla**, **śmieci** (najczęściej **tworzyw sztucznych**),
- jako emisje transportowe.



## Źródła emisji pyłu PM 2.5



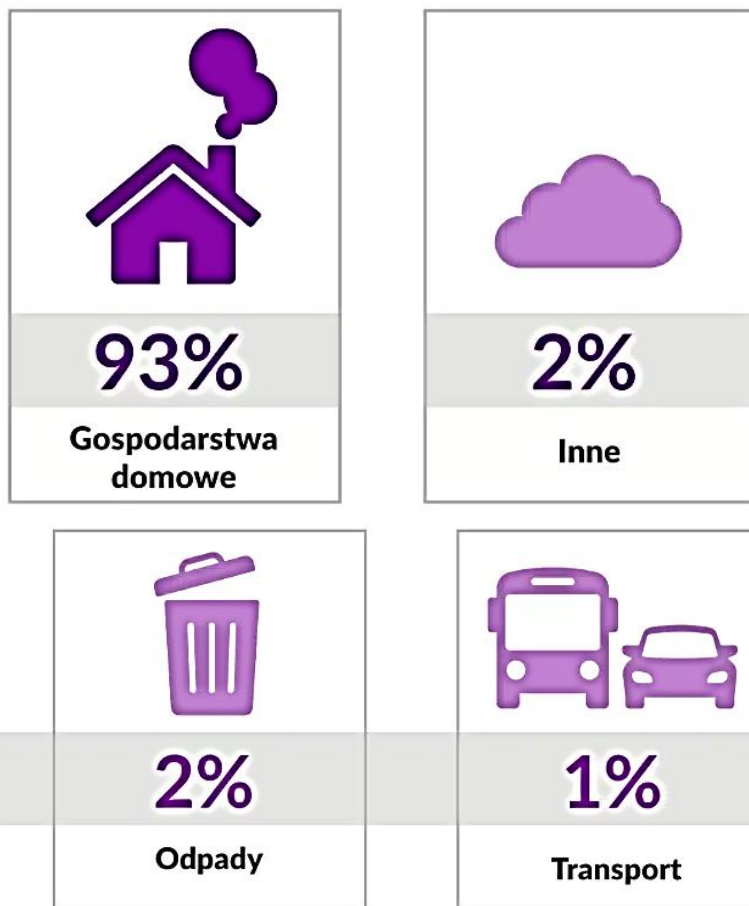
Źródło: KOBiZE 2024, Krajowy bilans emisji, udział poszczególnych sektorów w emisji pyłu PM2.5 w roku 2022

## Emisja pyłów z domowych urządzeń grzewczych [mg/m<sup>3</sup>]

Źródło: Założenia bazy danych wskaźników emisji dla kalkulatora emisji zanieczyszczeń z urządzeń grzewczych na paliwa stałe  
Autorzy: dr inż. Krystyna Kubica, dr inż. Robert Kubica

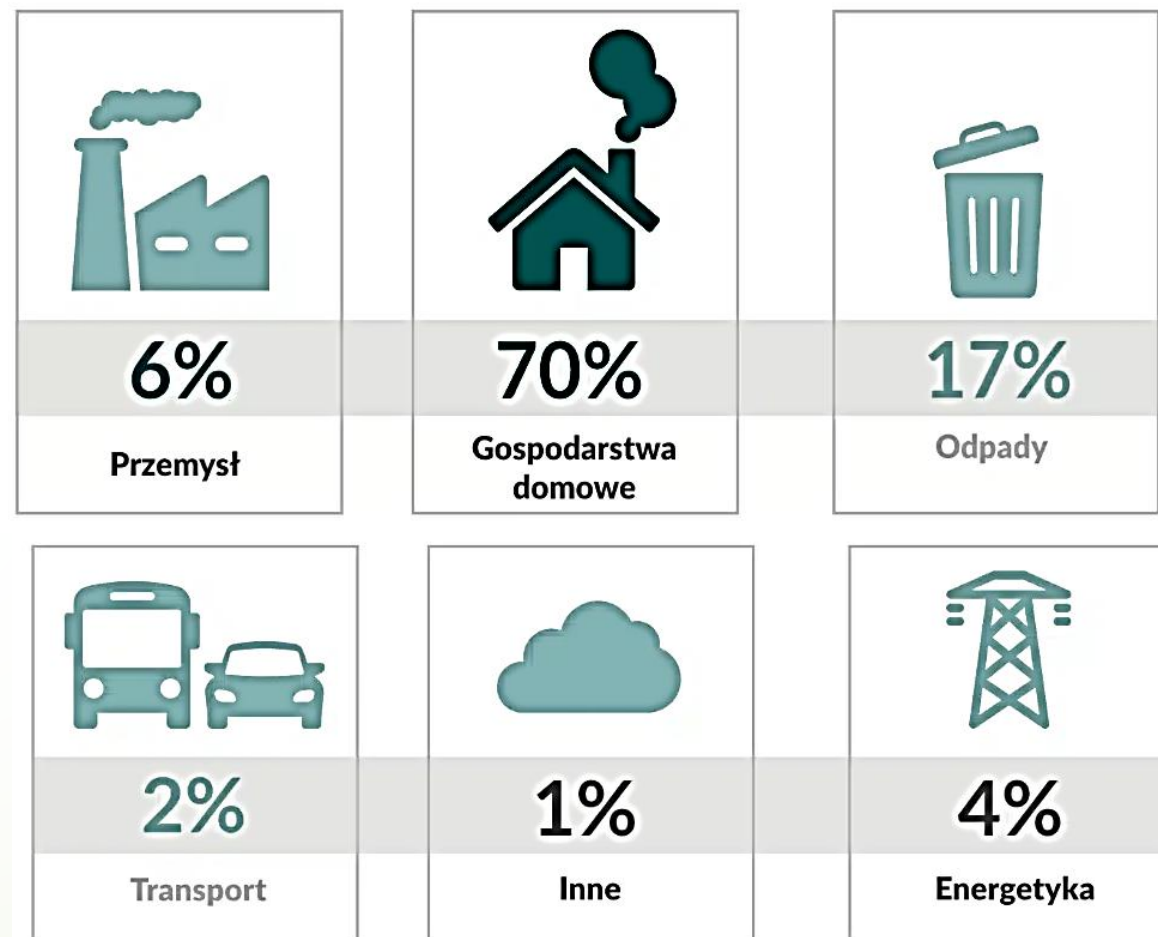


## Źródła emisji WWA (wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne)



Źródło: KOBiZE 2024, Krajowy bilans emisji,  
Udział poszczególnych sektorów w emisji WWA w roku 2022

## Źródła emisji dioksyn i furanów



Źródło: KOBiZE 2024, Krajowy bilans emisji,  
Udział poszczególnych sektorów w emisji dioksyn i furanów w roku 2022

| Kategoria źródeł emisji                                       | Emisja<br>(w gramach) |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Procesy spalania w sektorze produkcji i transformacji energii | 10,94                 |
| Procesy spalania w przemyśle                                  | 5,79                  |
| Transport                                                     | 8,13                  |
| <u>Spalanie w małych źródłach</u>                             | 171,79                |
| Emisja z paliw                                                | 2,83                  |
| Procesy przemysłowe                                           | 13,42                 |
| Rolnictwo                                                     | 0,01                  |
| <u>Zagospodarowanie odpadów</u>                               | 61,20                 |
| <b>Razem</b>                                                  | <b>274,10</b>         |

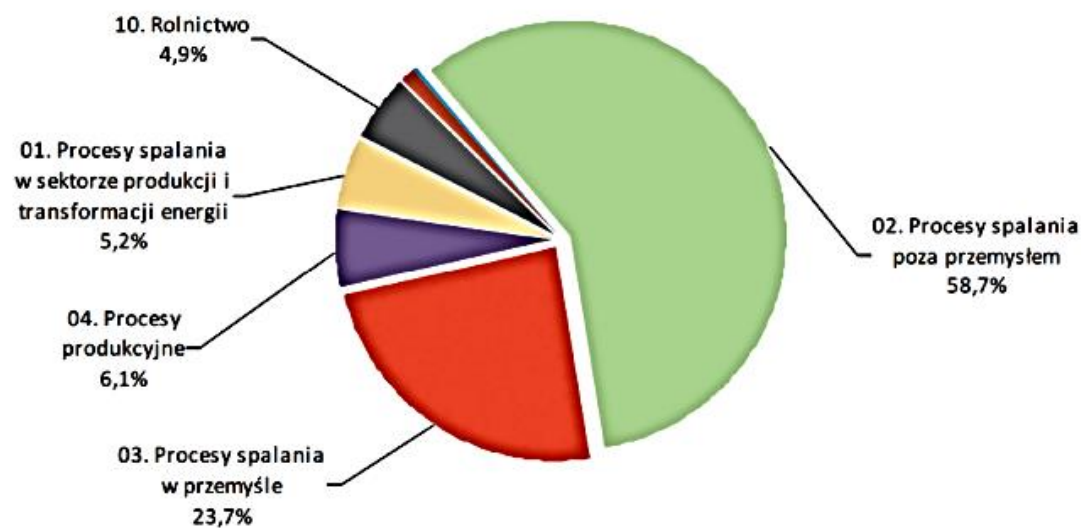
**Tab. 1.** Struktura emisji dioksyn w Polsce w 2019 r. (wg KOBiZE)



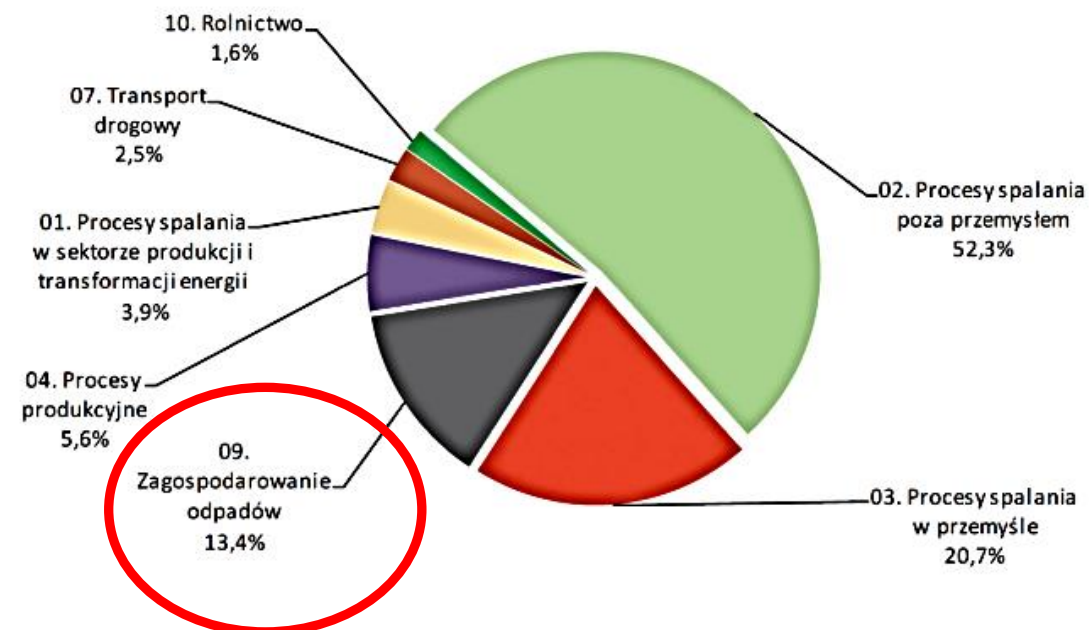


## Udział największych sektorów w emisji PCDD/PCDF

2014



2016





## Występowanie w środowisku:

1. **W powietrzu:** Emisje dioksyn i furanów osiadają na pyłach zawieszonych.
2. **W glebie i wodzie:** Dioksyny i furany są trudno rozkładalne i mogą gromadzić się w ekosystemach.

## Wpływ na środowisko:

### 1. Zanieczyszczenie gleby i wód:

1. Dioksyny wprowadzane do środowiska mogą przez dziesięciolecia pozostawać aktywne, wpływając na zdrowie ekosystemów.

### 2. Szkody w ekosystemach:

1. Zatrucie organizmów wodnych i lądowych, prowadzące do spadku różnorodności biologicznej.

## Wpływ na zdrowie:

### 1. Toksyczność:

1. **Rakotwórczość:** Dioksyny, zwłaszcza TCDD, są uznawane za silne kancerogeny.
2. **Uszkodzenie układu odpornościowego:** Osłabiają odpowiedź immunologiczną organizmu.
3. **Problemy hormonalne:** Zakłócają funkcjonowanie układu hormonalnego, powodują zmiany w metabolizmie, wzroście, rozwoju .
4. **Wpływ na rozrodczość:** Dioksyny mogą powodować wady rozwojowe i obniżać płodność.

### 2. Bioakumulacja:

1. **Gromadzą się w tłuszczach organizmów**, przez co ich stężenie wzrasta w łańcuchu pokarmowym.
2. **Największe narażenie** dotyczy ludzi spożywających produkty zwierzęce (np. ryby, mięso, mleko).



## 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzodioxyna, TCDD

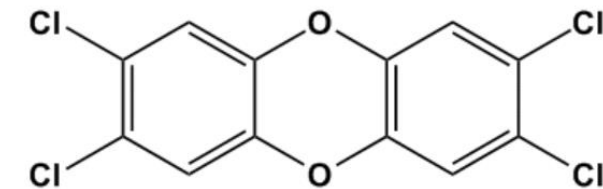
Pierwszy objaw zatrucia- [trąd chlorowy](#) - zapalne zmiany skóry, głównie twarzy i rąk. Utrzymuje się przez wiele lat pozostawiając głębokie blizny.

W wyniku zatrucia **TCDD** mogą wystąpić

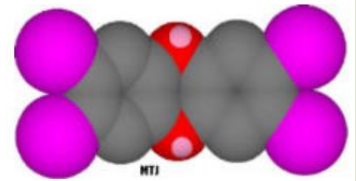
- zaburzenia w tworzeniu się hemoglobiny,
- zapalenie trzustki
- uszkodzenie wątroby,
- podatność na infekcje,
- zaburzenia neurologiczne,
- zaburzenia ze strony układu hormonalnego.

Śmiertelna dawka **TCDD** dla człowieka nie jest dokładnie znana.

**TCDD** –został prawdopodobnie wykorzystany do usiłowania otrucia [Wiktora Juszczenki](#) jesienią 2004 roku w czasie kampanii prezydenckiej na [Ukrainie](#).



2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin (TCDD)

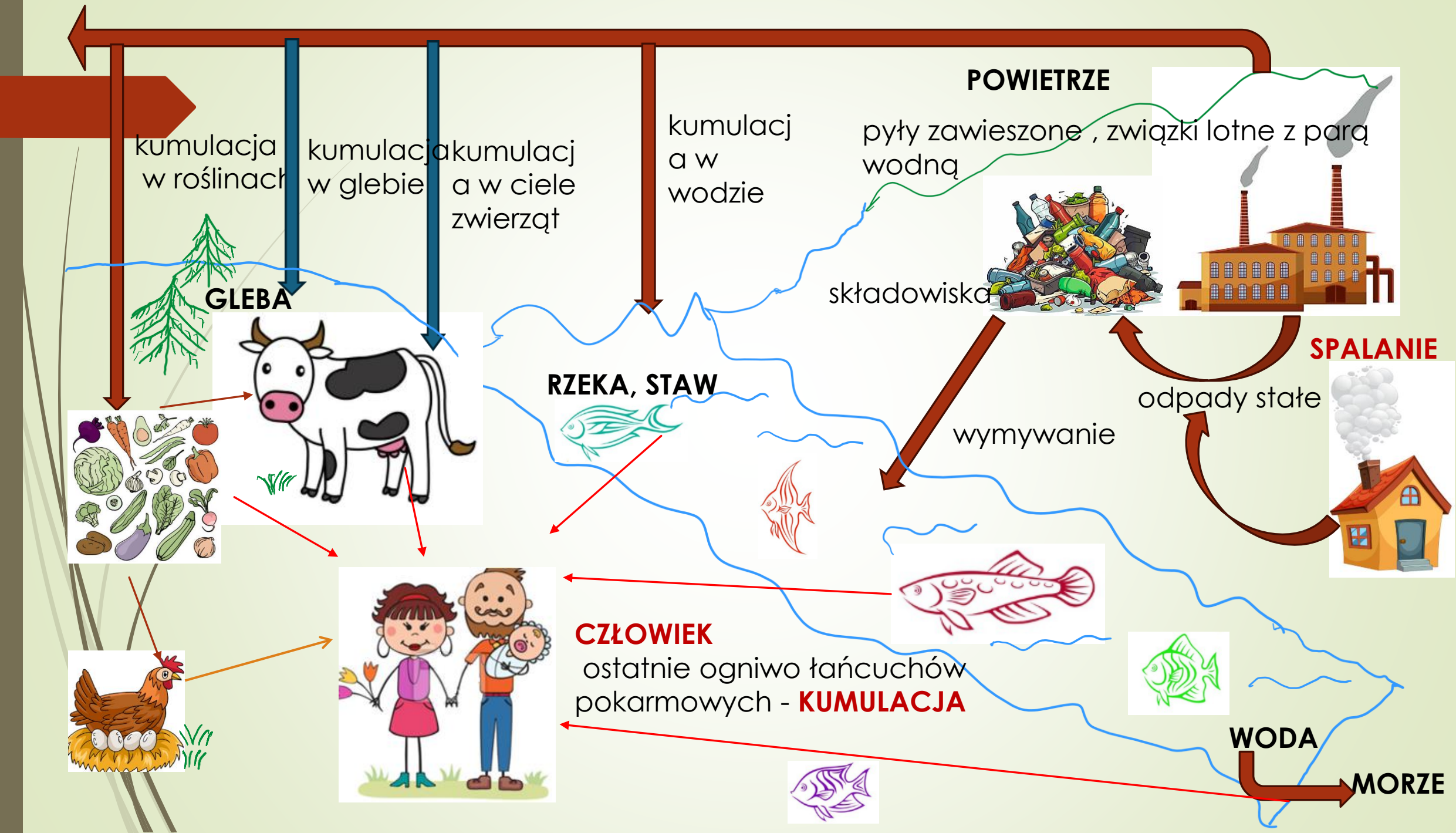


TCDD

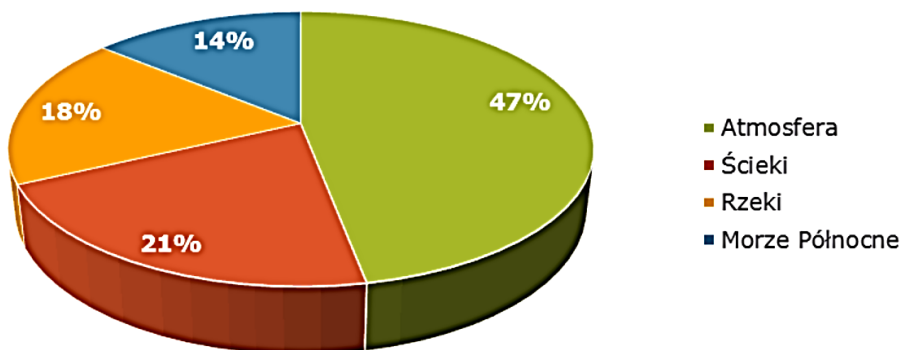
# Efekty obecności dioksyn i furanów na poziomie komórkowym. Rakotwórczość, mutagenność.

- Działa głównie jako *promotor* – zwiększa podatność komórek na mutacje spowodowane przez inne czynniki
- Wiążą się z receptorem AhR
- Zmieniają ekspresję ~200 genów.
- Zaburzają równowagę redoks (↑ ROS).
- Działanie hormonalne (tarczyca, estrogeny).
- Immunotoksyczność
- W badaniach ludzi wykazano korelacje obecności TCDD z nowotworami wątroby, chłoniakiem nie-Hodgkina, rzadziej mięsakami.

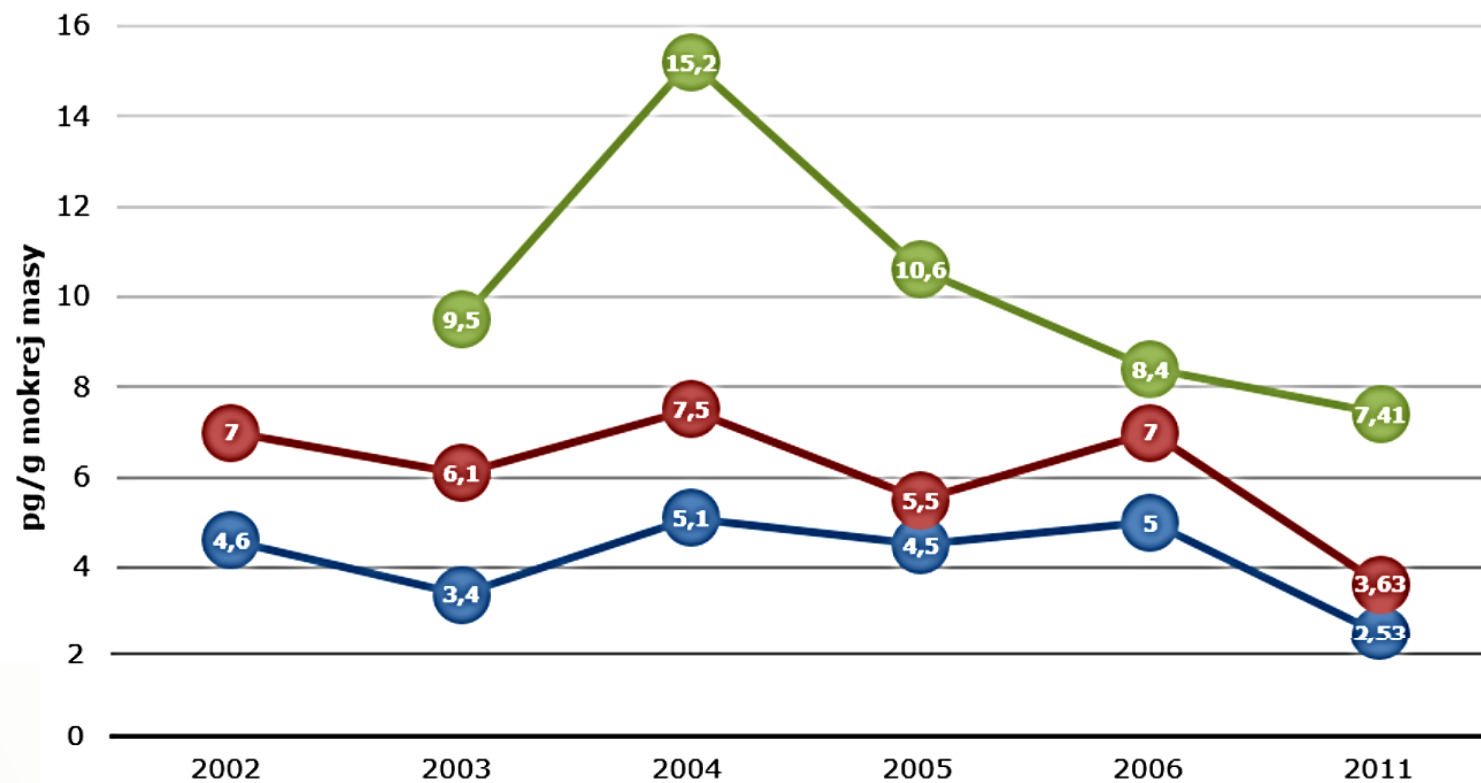
Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (IARC) klasyfikuje TCDD w **grupie 1 – pewny czynnik rakotwórczy.**



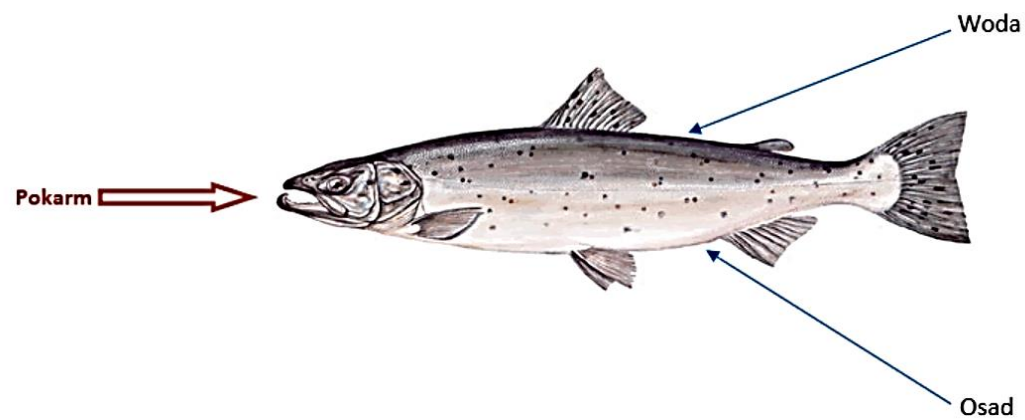
Skąd dioksyny biorą się w Morzu Bałtyckim



Zmiany zawartości dioksyn + dl PCB w rybach bałtyckich

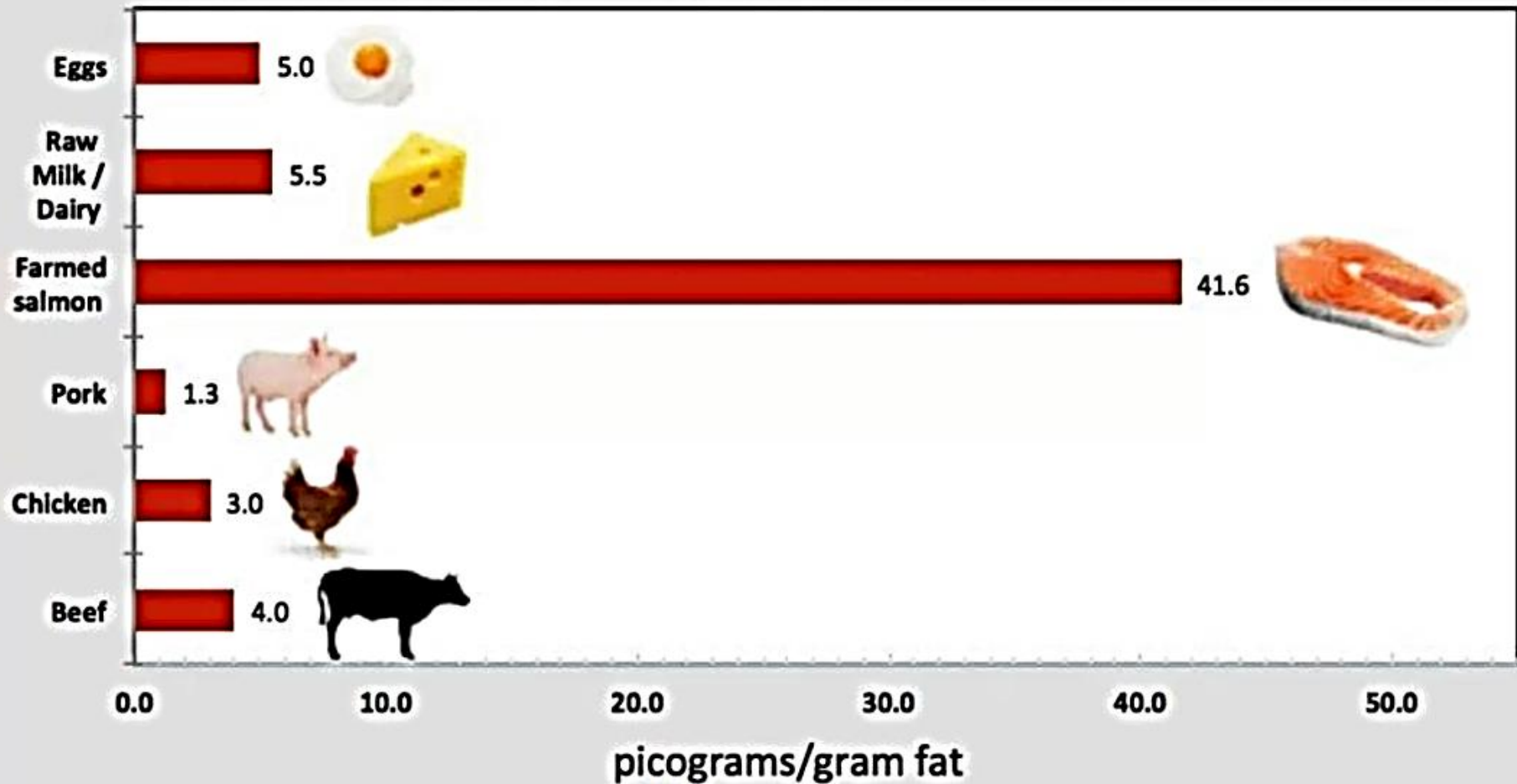


Skąd dioksyny biorą się w rybach





## Dioxins and dioxin-like PCBs



Source data: EU Commission Regulation (EU) No 1259/2011 of 2/12/2011, Maximum Allowable levels for sale in the EU Market  
Farmed Salmon contains 15.6% average total fat in the filet, from the Norwegian National Institute of Nutrition and Seafood Research Seafood Database.  
Accessed 25 October 2013

Udział poszczególnych grup produktów spożywczych w kształtowaniu średniego dziennego podania PCDD z pokarmem , jako TEQ pg/osobę

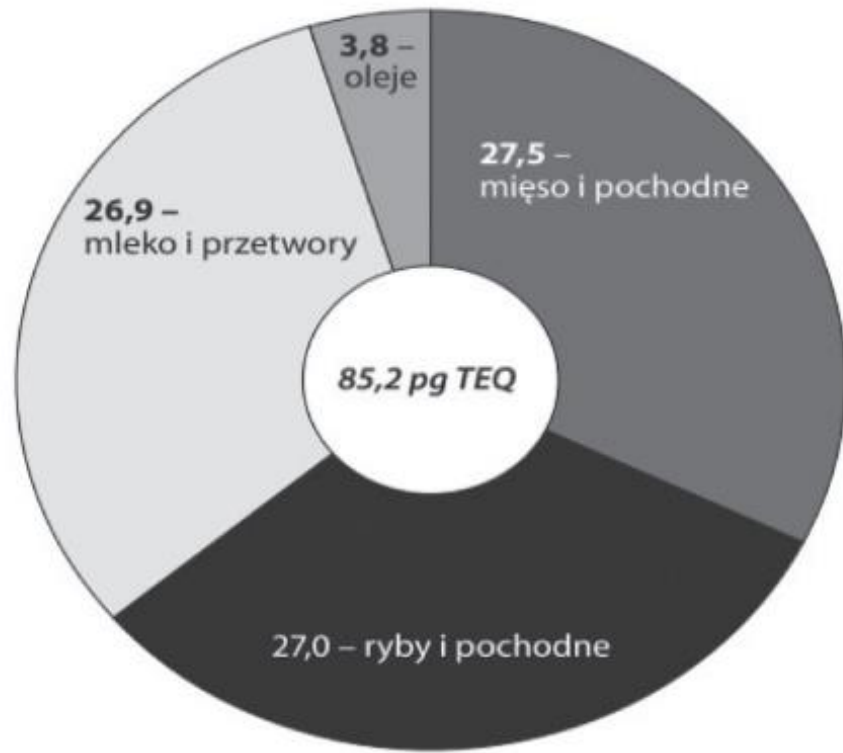


Fig. 7. Participation of individual groups of food products in the forming of average daily intake of PCDD with food as TEQ pg/person<sup>8)</sup>

Rys. 7. Udział poszczególnych grup produktów spożywczych w kształtowaniu średniego dziennego pobrania PCDD z pokarmem jako TEQ pg/osobę<sup>8)</sup>



$$3,8 + 27,5 + 27,0 + 26,9 = 85,2 \text{ pg/osoba TEQ}$$

około 90%  
droga pokarmowa      droga aerogenna      droga kontaktowa

PCDD w osoczu krwi człowieka

kumulacja w tkance tłuszczowej

droga hepatogenna

uwalnianie do mleka  
matki karmiącej

uwalnianie do krwi

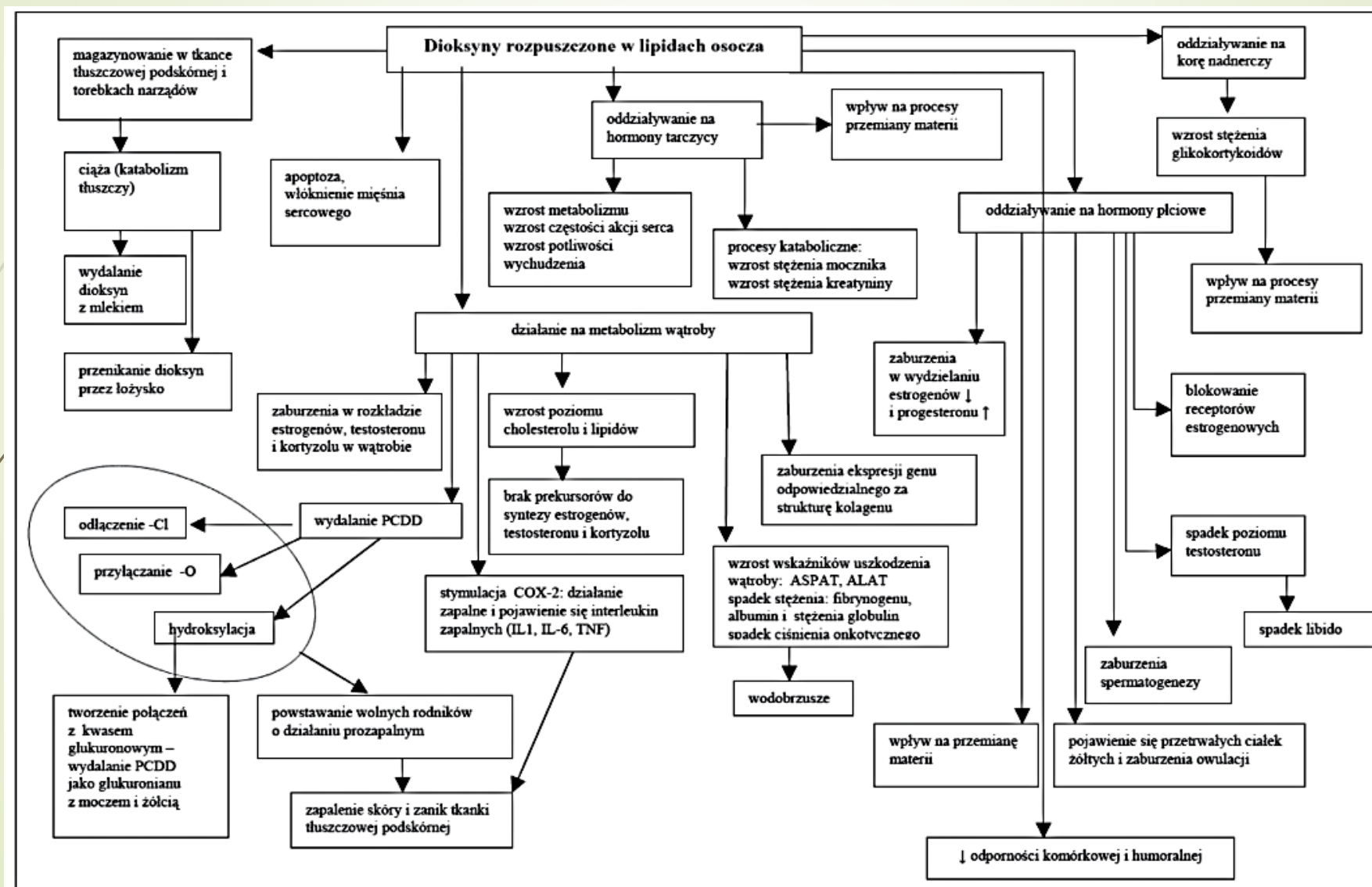
zaburzenia metaboliczne

usuwanie z organizmu





# Oddziaływania PCDD/PCDF na funkcje narządów







- 01.07.2024 PAP/Marian Zubrzycki
- Jeden pożar składowiska odpadów emituje do atmosfery taką ilość rakotwórczych dioksyn, ile przez 8 lat wytworzą wszystkie polskie spalarnie, których jest teraz dziewięć - wskazał w rozmowie z PAP prof. Grzegorz Wielgosiński z Politechniki Łódzkiej. Jak podał, **pożary składowisk** odpowiadają za 15 proc. emisji dioksyn w Polsce.



Pożar lasu na brzegu rzeki Xingu, Amazonia, Brazylia, fot. Adobe Stock

Podczas 2024 r. obszar lasów zniszczonych wskutek pożarów i wycinki w Puszczy Amazońskiej **zwiększył się wobec wcześniejszego roku o prawie 500 proc.**, oszacował brazylijski Instytut Człowieka i Środowiska Amazonii Jedną z przyczyn zwiększonej liczby pożarów była pogłębiająca się, ekstremalna susza.



# Od jak dawna wiemy o zagrożeniu dioksynami

- Seveso i Agent Orange 1976: awaria we włoskiej Seveso → najwyższe stężenia TCDD w historii;
- 1961-71 :- defoliant Agent Orange (zanieczyszczony TCDD) w Wietnamie – liczne choroby u weteranów i ludności.

## Ograniczanie emisji dioksyn i furanów:

### 1.Kontrola procesów spalania:

1. Instalacja nowoczesnych filtrów i technologii redukujących emisje w spalarni odpadów.

### 2.Ograniczenie spalania odpadów:

1. Zakaz spalania odpadów w piecach domowych i na otwartym powietrzu.

### 3.Zrównoważona produkcja przemysłowa:

1. Zmniejszenie użycia chloru w procesach przemysłowych.

### 4.Monitorowanie i regulacje:

1. Regularne pomiary emisji w zakładach przemysłowych i stosowanie norm unijnych dotyczących emisji dioksyn.



# Podsumowanie

Największym źródłem dioksyn i furanów jest **niekontrolowane spalanie odpadów** w piecach i na „dzikich” wysypiskach.

Dioksyny to cały czas poważny toksykologiczny temat/problem , **ale dobrze zaprojektowana, kontrolowana spalarnia nie powinna zwiększyć ryzyka ponad tło dietetyczne.**

Regulacje prawne:

## 1.Unia Europejska:

1. Dyrektywa 2010/75/UE (Dyrektywa w sprawie emisji przemysłowych) określa limity emisji dioksyn i furanów dla spalarni odpadów.

## 2.Polska:

1. Rozporządzenia dotyczące ochrony środowiska i zakazu spalania odpadów poza kontrolowanymi instalacjami.