



Co-funded by
the European Union



ERICA

Environmental monitoRIng
through Civic engAgement

Wzmacnianie społeczności lokalnej przez naukę obywatelską

Narzędzia do monitorowania wpływu
przemysłu paliw kopalnych i inicjowania zmian



Illustrations by Storyset



ERICA – Environmental monitoring through Civic engagement

ERICA - Monitorowanie środowiska poprzez zaangażowanie obywatelskie

Projekt ERICA jest przedsięwzięciem realizowanym we współpracy między Uniwersytetem Erasma w Rotterdamie, Uniwersytetem w Barcelonie, Uniwersytetem im. Adama Mickiewicza, Source International, European Association for Local Democracy (ALDA), Cova Contro i Social IT. Projekt otrzymał dofinansowanie z programu Unii Europejskiej Erasmus + 2023 w ramach umowy o dofinansowanie nr 2023-1-NL01-KA220-ADU-000154929.

Opublikowano online w listopadzie 2024 r.

Koordinacja i redakcja: Rachele Ossola (Source International)

Formatowanie: Eleonora Tassan, Michele Maistrelli i Rosalia Giuga (Social IT)

Współautorzy: Rachele Ossola, Diana Alonso, Flaviano Bianchini, Karolina Dziubata-Smykowska, Laura Grassi, Marek Jaskólski, Aleksandra Lis-Plesińska, Clara Masetti, Gorka Muñoa, Martí Orta-Martínez, Lina Pita, Lorenzo Pellegrini, Neus Roig, Giorgio Santoriello i Francesca Savoldi.

Recenzenci: Alice Lazzarin, Alessia Marzotto i wszyscy współautorzy.

Niniejszy dokument należy cytować jako: R. Ossola, D. Alonso, F. Bianchini, K. Dziubata-Smykowska, L. Grassi, M. Jaskólski, A. Lis-Plesińska, C. Masetti, G. Muñoa, M. Orta-Martínez, L. Pita, L. Pellegrini, N. Roig, G. Santoriello, and F. Savoldi (2024), *Empowering Communities with Citizen Science – Tools to Monitor the Impacts of Fossil Fuel Industries and Drive Change*. ERICA Project, <https://www.ericaproject.eu/>

Dokument jest dostępny online pod linkiem:

<https://www.ericaproject.eu/project/#ebooklet>

Wszystkie ilustracje zostały stworzone przez Rachele Ossolę, Eleonorę Tassan, Michele Maistrellego i Rosalię Giugę i mogą być ponownie wykorzystane z odpowiednim podpisem.

Projekt otrzymał dofinansowanie z programu Unii Europejskiej Erasmus+ 2023 w ramach umowy o dofinansowanie nr 2023-1-NL01-KA220-ADU-000154929. Sfinansowane ze środków UE. Wyrażone poglądy i opinie są jedynie opiniami autora lub autorów i niekoniecznie odzwierciedlają poglądy i opinie Unii Europejskiej lub Europejskiej Agencji Wykonawczej ds. Edukacji i Kultury (EACEA). Unia Europejska ani EACEA nie ponoszą za nie odpowiedzialności.



Spis treści

Spis treści	1
1. Wprowadzenie	3
2. Czym są paliwa kopalne i jak się je wydobywa?	7
2.1. Czym są paliwa kopalne?	8
2.2 Ropa naftowa i gaz – wydobywanie i przetwarzanie	11
2.2.1 Wydobywanie	11
2.2.2 Przetwarzanie ropy naftowej – rafineria	12
2.2.3 Przetwarzanie ropy naftowej – zakłady petrochemiczne	14
2.3 Węgiel – wydobywanie i przetwarzanie	14
3. Jak przemysł paliw kopalnych wpływa na środowisko?	16
3.1 Jakie zanieczyszczenia emituje przemysł paliw kopalnych?	17
3.1.1 Podział ze względu na kryteria środowiskowe	17
3.1.2 Podział ze względu na rodzaj paliwa kopalnego i procesy produkcyjne	20
3.2 Jak niebezpieczne są te związki chemiczne?	24
3.2.1 Wpływ na zdrowie człowieka - na jakie zanieczyszczenia powinniśmy zwracać uwagę?	24
3.2.2 Normy i wytyczne dotyczące jakości środowiska - przy jakich stężeniach powinniśmy się martwić?	28
4. Jakich narzędzi używać do monitorowania stanu środowiska?	33
4.1 Narzędzia do monitorowania powietrza	37
4.1.1 Czujniki komercyjne o niskim i umiarkowanym koszcie	37
4.1.2 Czujniki do samodzielnego montażu (DIY)	38
4.1.3 Próbniki komercyjne i DIY	39
4.1.4 Pozostałe metody	41
4.2 Narzędzia do monitorowania wody	43
4.2.1 Niskobudżetowe zestawy komercyjne	43
4.2.2 Niskobudżetowe czujniki komercyjne	44
4.2.3 Pozostałe metody	44



5. Jak korzystać z danych środowiskowych i wprowadzać zmiany?	46
5.1 Czym jest <i>wiedza praktyczna</i> ?	47
5.2 Jak <i>stosować</i> dane środowiskowe?	48
6. Wybrane przykłady w Europie i na świecie	51
6.1 Kompleks petrochemiczny w Tarragonie	53
6.1.1 Problem	53
6.1.2 Inicjatywy	53
6.1.3 Rezultaty	54
6.2 Rafineria ropy naftowej Sarlux	56
6.2.1 Problem	56
6.2.2 Inicjatywa	56
6.2.3 Rezultaty	57
6.3 Wydobycie węgla w Polsce	58
6.3.1 Problem	58
6.3.2 Inicjatywa	59
6.3.3 Rezultaty	60
6.4 Przykłady poza Europą	60
6.4.1 Zakaz pochodni gazowych w Ekwadorze	61
6.4.2 Poprawa węglowych praktyk wydobywczych w Mjanmie	62
7. Wybrane źródła i dalsze lektury	65
Sekcja 2	66
Sekcja 3	66
Sekcja 4	67
Sekcja 5	68
Sekcja 6	68



Illustrations by Storyset

1. Wprowadzenie



Przemysł paliw kopalnych staje się coraz bardziej kluczowy dla równowagi geopolitycznej i nowoczesnego stylu życia. Potrzebujemy gazu ziemnego, aby utrzymać ciepło w naszych domach, benzyny do napędzania naszych samochodów i tworzyw sztucznych do prawie wszystkiego. Pomimo znacznej poprawy przepisów dotyczących ochrony środowiska i technik przemysłowych w ciągu ostatnich dziesięcioleci, wydobycie i przetwarzanie ropy naftowej, gazu i węgla pozostaje „brudnym” biznesem nawet w krajach rozwiniętych. Społeczności mieszkające w pobliżu zakładów wydobywających paliwa kopalne borykają się z uciążliwymi zapachami, degradacją środowiska, problemami zdrowotnymi i ich wpływem na lokalną społeczność – zarówno w odległych rejonach ekwadorskiej Amazonii, jak i w zatłoczonych europejskich portach.

W ciągu ostatnich dwóch dekad nauka obywatelska stała się potężnym narzędziem do gromadzenia danych naukowych, jednocześnie edukując i wzmacniając pozycję lokalnych społeczności. Nauka obywatelska angażuje osoby niebędące naukowcami zarówno w definiowanie zakresu planowanych projektów, jak i w gromadzenie danych, analizę oraz udostępnianie wyników. Poziomy zaangażowania są dostosowywane do czasu, zainteresowań i potrzeb obywateli. To partycypacyjne podejście do nauki zostało już wykorzystane przez tysiące społeczności w celu gromadzenia niezależnych dowodów degradacji środowiska, wspierania oddolnych kampanii edukacyjnych, angażowania polityków i instytucji, prowadzenia badań naukowych i podnoszenia świadomości w lokalnym społeczeństwie.

W tym kontekście [ERICA](#) – Environmental monito**R**ing through Civic eng**A**gement – ma na celu edukowanie obywateli mieszkających w pobliżu infrastruktury przemysłu paliw kopalnych, zachęcenie ich do prowadzenia niezależnego monitoringu środowiska i wykorzystywania zebranych informacji do wprowadzania pozytywnych zmian. Projekt ten, zgodnie z założeniami programu ERASMUS+, angażuje instytucje



akademickie ([Uniwersytet Erazma w Rotterdamie](#), [Uniwersytet w Barcelonie](#), [Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu](#)), stowarzyszenia i organizacje pozarządowe ([Cova Contro](#), [Source International](#), [European Association for Local Democracy](#)), partnerów technicznych ([Social IT](#)) i grupy fokusowe z ośrodków pilotażowych w Tarragonie (Hiszpania), Val d'Agri (Włochy) i Koninie (Polska). Projekt jest realizowany od listopada 2023 r. do 2026 r. i obejmuje opracowanie bezpłatnych materiałów edukacyjnych na temat monitorowania partycypacyjnego oraz wdrożenie tych narzędzi w ramach obywatelskich inicjatyw naukowych w trzech lokalizacjach pilotażowych.

Niniejszy e-book – pierwszy rezultat projektu – podsumowuje narzędzia i najlepsze praktyki w zakresie realizacji obywatelskich inicjatyw naukowych, które przyczyniają się do zmian społecznych, ze szczególnym uwzględnieniem wydobycia i przetwarzania gazu ziemnego, ropy naftowej i węgla w Europie. Publikacja ta jest wynikiem kompleksowego przeglądu literatury przeprowadzonego przez partnerów w pierwszym roku projektu i stanowi punkt wyjścia do opracowania metodologii szkoleniowej i platformy e-learningowej ERICA.

E-booklet składa się z siedmiu części. Sekcja 1 wprowadza do tematyki projektu. [Seksja 2](#) dostarcza podstawowych informacji na temat paliw kopalnych. [Seksja 3](#) analizuje główne zanieczyszczenia emitowane podczas wydobywania i przetwarzania paliw kopalnych, ich wpływ na zdrowie ludzi i środowisko, a także istniejące przepisy i wytyczne mające na celu naszą ochronę. [Seksja 4](#) stanowi przegląd przystępnych cenowo narzędzi i technologii odpowiednich dla obywatelskich inicjatyw naukowych dotyczących wpływu przemysłu paliw kopalnych na środowisko. [Seksja 5](#) opisuje najlepsze praktyki w zakresie maksymalizowania ilości *praktycznej wiedzy* uzyskanej w ramach obywatelskich projektów naukowych. [Seksja 6](#) przedstawia przykłady



projektów prowadzonych przez społeczności dotknięte eksploatacją paliw kopalnych w Europie i na świecie. Najistotniejsze publikacje, książki, strony internetowe i narzędzia, z których zaczerpnęliśmy informacje, są osadzone jako hiperłącza w tekście lub wymienione w [Sekcji 7](#).



Illustrations by Storyset

2. Czym są paliwa kopalne i jak się je wydobywa?



Niniejsza sekcja zawiera przegląd podstawowych pojęć dotyczących ropy naftowej, gazu i węgla: czym są, jak powstają i jak są przetwarzane przemysłowo. Oprócz podstawowej wiedzy, informacje te wyjaśniają wpływ na środowisko, jakiego można się spodziewać na każdym etapie przetwarzania, i pomagają wyjaśnić, na przykład, dlaczego mieszkańcy wokół kompleksu petrochemicznego w Tarragonie martwią się o 1,3-butadien ([Seksja 6.1](#)) ale nie o przewodność i zasolenie wód rzecznych, jak w przypadku Górnego i Dolnego Śląska ([Seksja 6.3](#)). Odniesienia bibliograficzne do tego rozdziału znajdują się w [Seksji 7](#).

2.1. Czym są paliwa kopalne?

Paliwa kopalne odnoszą się do materiałów bogatych w węgiel, które gromadzą się pod ziemią podczas geologicznego przetwarzania martwych organizmów. W zależności od organizmów i warunków przetwarzania, paliwa kopalne mogą być gazowe, ciekłe i stałe - określane odpowiednio jako gaz ziemny, ropa naftowa i węgiel. Chociaż ich skład chemiczny jest różny, wszystkie zawierają węgiel (wraz z wodorem, siarką, tlenem i azotem) i uwalniają ciepło podczas spalania.

Gaz ziemny i ropa naftowa zazwyczaj powstają i występują razem, choć jedno z nich może być dominujące. Pochodzą one z planktonu, który żył w płytkich, ciepłych oceanach miliony lat temu. Po śmierci plankton opadł na dno oceanu i został pokryty osadami. Z czasem podziemne ciepło i ciśnienie przekształciły go w naftę, a następnie w ropę naftową. Przez swoją lepkość, ropa naftowa rozprzestrzeniała się w porowatych skałach, aż została uwięziona przez nieprzepuszczalne warstwy, tworząc pole naftowe (lub gazowe) ([Rys. 1, górna grafika](#)). Zbiorniki te mają zawsze niejednorodny skład, w tym gazy (np. metan) i ciecze, zarówno węglowodory, jak i wodę, która stanowi ważny odpad w procesie wydobywania ropy naftowej (zobacz w [Seksji 2.2.1](#)).



Węgiel kamienny uformował się w bagnistych lasach w okresie karbońskim, 300 do 360 milionów lat temu. Martwe drzewa spadały na bagna, gdzie brak tlenu uniemożliwiał ich rozkład. Z biegiem czasu drzewa te zamieniły się w torf, a ostatecznie w różne rodzaje węgla: brunatny, subbitumiczny, bitumiczny i antracyt (Rys. 1, dolna grafika). Złóża węglowe zawierają między innymi takie pierwiastki jak węgiel (C) i siarkę (S). Zawartość siarki jest kluczowa, jeśli chodzi o przetwarzanie węgla i wpływ na środowisko. Węgiel zawiera również niewielkie ilości metanu (CH_4) i innych lotnych organicznych związków chemicznych (LZO), które są uwięzione w jego stałej strukturze i uwalniane podczas wydobywania.

Węgiel brunatny występuje na świecie przede wszystkim w utworach paleogenu i neogenu, niekiedy również w utworach kredy, jury i triasu, a także sporadycznie karbonu. Złóża węgla brunatnego powstawały głównie w miocenie czyli ca. 23,03 mln do 5,333 mln lat temu. Węgiel brunatny występujący na obszarze Polski powstawał od triasu do paleogenu (paleocen, eocen, oligocen) i neogenu (miocen, pliocen). Największe znaczenie gospodarcze ma najczęściej występujący w Polsce węgiel brunatny z młodszych okresów geologicznych – paleogenu i neogenu a największe złoża węgla brunatnego w Polsce pochodzą z miocenu, czyli sprzed około 20 mln lat. Złóża powstawały w warunkach niezbyt dużego ciśnienia i nieznacznie podwyższonej temperatury, pod przykryciem nadkładu o miąższości od 30 do 300 m.

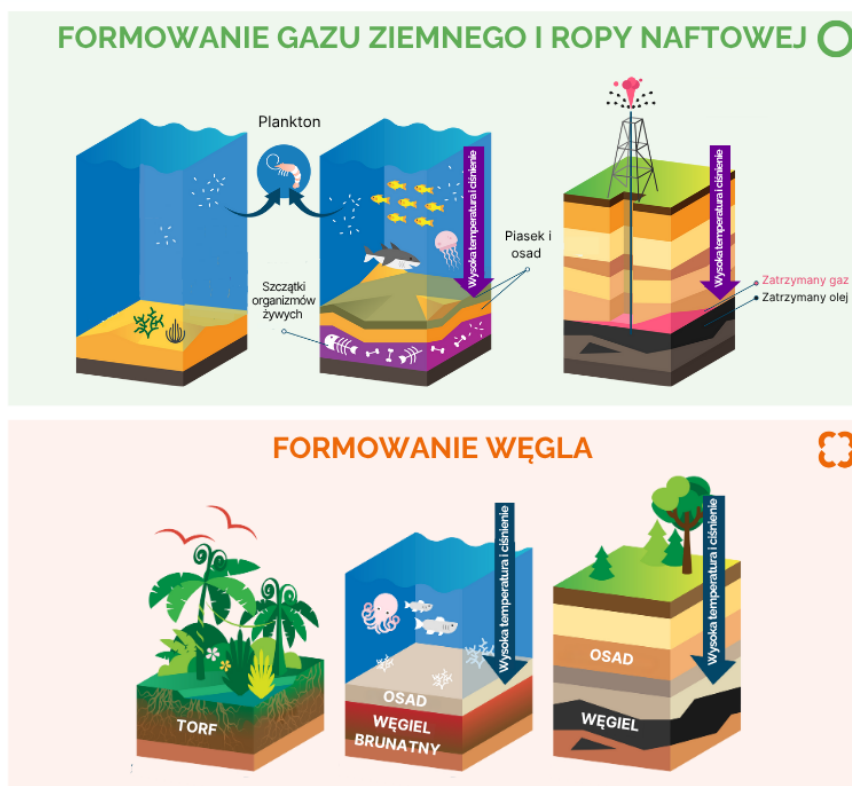
Ze względu na genezę wyróżnia się węgiel:

- humusowy – utworzony ze szczątków flory lądowej;
- sapropelowy – utworzony ze szczątków flory wodnej;
- liptobiolitowy – powstały z nagromadzenia żywiczno-woskowych składników roślin.



Ze względu na zastosowanie można wyróżnić następujące typy technologiczne węgla brunatnego:

- węgiel energetyczny – potrzebny w elektrowniach ciepłych, o wartości opałowej powyżej 6,5 MJ/ kg i zawartości popiołu poniżej 40%;
- węgiel brykietowy – stosowany do produkcji brykietów, o wartości opałowej ponad 8,4 MJ/kg i zawartości popiołu poniżej 15%;
- węgiel wylewny – używany do produkcji prądożył i paliw płynnych, zawierający w stanie suchym poniżej 20% popiołu;
- węgiel ekstrakcyjny – wykorzystywany do otrzymywania wosku ekstrakcyjnego i bituminów, o zawartości w stanie suchym ponad 12% bituminów.



Source: <https://www.yaclass.in/p/science-cbse/class-8/coal-and-petroleum-18085/different-types-of-natural-resources-4963/re-5b0f4cd9-5f99-4128-98d4-5dcace8dfc25>

Rysunek 1 Schematyczny przegląd powstawania gazu ziemnego, ropy naftowej i węgla.



2.2 Ropa naftowa i gaz – wydobywanie i przetwarzanie

2.2.1 Wydobywanie

Po odkryciu pola naftowego inżynierowie wykonują pierwszy odwiert, aby ocenić jakość i ilość węglowodorów. Jeśli wyniki są dobre, budują instalację wydobywczą – serię odwiertów zaprojektowanych w celu wydajnego wydobywania ropy lub gazu. Sposób działania instalacji zależy od mieszanki węglowodorów i etapu wydobywania. We wczesnej fazie gaz i ropa są wypychane w górę przez ciśnienie podziemne. W ten sposób wydobywa się do 90% gazu ziemnego i 30% ropy naftowej. W drugim etapie gaz i woda są wtryskiwane do odwiertów w celu odzyskania dodatkowych 10-15% ropy naftowej. Ostatni etap wykorzystuje emulsje i rozpuszczalniki chemiczne, które są pompowane pod ziemię w celu wydobywania kolejnych 10-15% pozostałej ropy.

Po wydobywaniu surowiec jest stabilizowany i przesyłany rurociągami do rafinerii. Proces stabilizacji obejmuje oddzielenie cieczy od gazu, a następnie usunięcie wody (odwodnienie), siarkowodoru (odsiarczanie) i soli (odsłanianie). Gaz zawiera metan i lekkie węglowodory i jest przetwarzany w celu sprzedaży lub usuwany poprzez **spalanie w pochodniach gazowych** (Box 1). W wyniku odwodnienia powstają **ścieki przemysłowe** zawierające wysokie stężenie soli, węglowodorów, metali ciężkich, radionuklidów oraz – jeśli pochodzą z trzeciego etapu ekstrakcji – rozpuszczalników organicznych i emulgatorów. Ścieki te są oczyszczane i zazwyczaj ponownie wtryskiwane pod ziemię.



Box 1. Pochodnie gazowe wpływ na środowisko

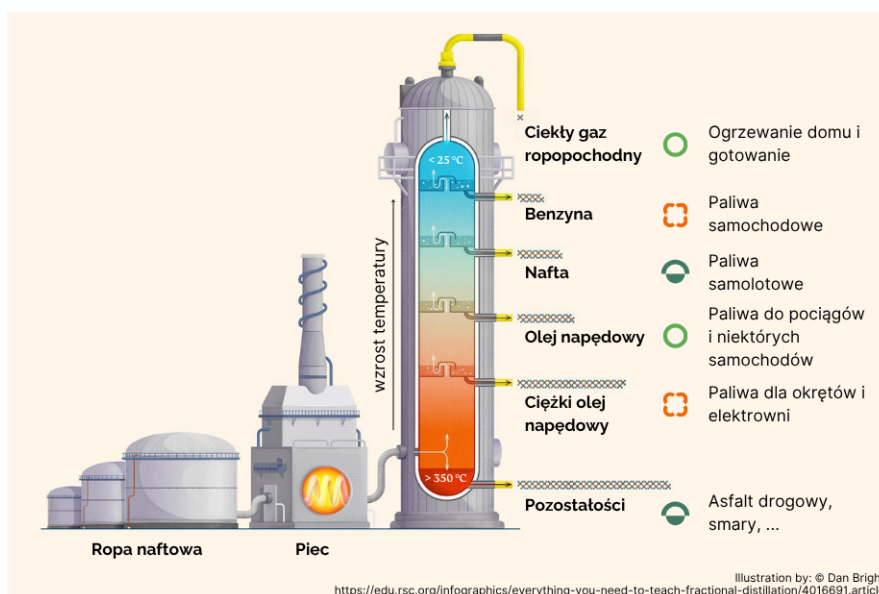
Pochodnie gazowe to kontrowersyjna praktyka polegająca na spalaniu gazu wydostającego się podczas wydobywania ropy naftowej – w rzeczywistości nie wszystkie firmy mają infrastrukturę do zbierania, przetwarzania i transportu gazów, które zawierają pola naftowe (Rys. 1, górna grafika). Spalanie i odpowietrzanie gazu jest również stosowane jako środek ostrożności w celu uniknięcia niebezpiecznego wzrostu ciśnienia. Spalanie gazu w pochodniach przekształca gaz odpadowy w CO₂, przyczyniając się do około 1% globalnego ocieplenia. Uwalnianie odpadów bez ich spalania jest jeszcze gorsze, ponieważ metan, główny składnik gazu, jest silniejszym gazem cieplarnianym niż CO₂. Spalanie emituje również zanieczyszczenia, takie jak sadza (składnik pyłu zawieszonego) i dwutlenek siarki, pogarszając lokalną jakość powietrza i przyczyniając się do zakwaszenia wody i gleby. Spalanie gazu na pochodniach to także marnotrawstwo zasobów naturalnych: gdyby zebrać 150 mld m³ gazu spalanego na pochodniach rocznie, można by zaspokoić potrzeby energetyczne całego kontynentu afrykańskiego. W 2015 r. Bank Światowy uruchomił [zobowiązanie do zaprzestania spalania w pochodni do 2030 r.](#), ale wysiłki zmierzające do osiągnięcia tego celu są coraz mniejsze.

2.2.2 Przetwarzanie ropy naftowej – rafineria

Po wydobywaniu i wstępnej obróbce ropa naftowa jest wysyłana do **rafinerii**, przekształca się ją w różne produkty. Proces rozpoczyna się od podgrzania ropy naftowej do 400°C u podstawy **wieży rafineryjnej** (Rys. 2). Gdy olej się nagrzewa, jego składniki parują i unoszą się. Gdy osiągną wysokość w odpowiedniej temperaturze, skraplają się i są zbierane. Proces ten – zwany **frakcjonowaniem węglowodorów** – oddziela grupy węglowodorów na podstawie ich temperatur wrzenia,



które są powiązane z liczbą atomów węgla. Lekkie węglowodory, takie jak propen i buten, są zbierane jako gazy na szczycie wieży, podczas gdy cięższe pozostają na dole, gdzie są dalej rozdzielane na paliwa, smary i inne produkty. Po frakcjonowaniu wszystkie produkty przechodzą przez dodatkowe procesy, takie jak **kraking** (rozbijanie dużych cząsteczek węglowodorów na mniejsze), **alkilacja** (łącznie mniejszych cząsteczek węglowodorów w większe, bardziej złożone) i **reforming** (przekształcanie struktury węglowodorów w celu poprawy ich właściwości, takich jak liczba oktanowa), które zmieniają ich skład chemiczny i przekształcają je w produkty użytkowe.



Rys. 2 Fractionation of crude oil in a refining tower. The various fractions are collected and further processed to obtain fuels, feedstock, and other everyday items.

Ponieważ przetwarzanie ropy naftowej wymaga dużej ilości energii, rafinerie zazwyczaj posiadają własne **elektrownie**, które wykorzystują paliwa płynne i gazowe oraz produkty uboczne procesu rafinacji. Jeśli chodzi o wydobywanie, ze względów bezpieczeństwa mogą być obecne jednostki spalania gazu.



2.2.3 Przetwarzanie ropy naftowej – zakłady petrochemiczne

Po rafinacji produkty ropopochodne mogą być wysyłane do zakładów petrochemicznych w celu dalszego przetwarzania. Zakłady te wykorzystują dowolny surowiec pochodzący z paliw kopalnych do produkcji szerokiej gamy produktów: tworzyw sztucznych, gum, tekstyliów, leków i pestycydów. Ponieważ istnieje tak wiele możliwych opcji, trudno jest przedstawić ogólny opis procesu i oczekiwany wpływ na środowisko. Ponieważ wykorzystują one produkty końcowe rafinerii, duże zakłady petrochemiczne są często zlokalizowane obok rafinerii – na przykład w Tarragonie ([Seksja 6.1](#)) i Marsylii.

2.3 Węgiel – wydobywanie i przetwarzanie

Pokłady węgla w zależności od miejsca na ziemi, znaleźć można zarówno płytko pod powierzchnią ziemi jak również głęboko pod nią. Pokłady węgla eksploatuje się z pól górniczych dostosowując właściwą metodę w zależności od uwarunkowań górotworu, głębokości i miąższości pokładów węgla. Węgiel znajdujący się blisko powierzchni ziemi pozyskuje się w technologii odkrywkowej. Z kolei węgiel z większej głębokości wydobywa się przy użyciu szybów lub sztolni metodą ścianową lub komorowo-filarową. Ogólnie rzecz biorąc, górnictwo podziemne wymaga większej liczby pracowników i wiąże się z wyższym ryzykiem zawodowym niż górnictwo odkrywkowe: w Stanach Zjednoczonych jest to jedna z najbardziej niebezpiecznych prac, jakie można podjąć.

W zależności od przeznaczenia, po wydobyciu węgiel jest sortowany oraz kruszony na pożądaną frakcję a następnie przygotowywany do spalania poprzez jak najdokładniejsze oddzielenie skały płonnej od urobku jak również inne metody wzbogacania. Węgiel o dużej zawartości siarki, odsiarczany jest przy użyciu wody która wykorzystuje



różnicę we właściwościach fizycznych węgla i pirytu (związku siarki). Proces ten może usunąć od 40% - 90% siarki nieorganicznej, zmniejszając tym samym ilość dwutlenku siarki uwalnianej podczas spalania, lecz generuje przy tym **ścieki przemysłowe**. Które, jeśli nie są prawidłowo zarządzane, mogą oddziaływać negatywnie na ekosystem ze względu na ich kwasowość, wysoką zawartość metali ciężkich i często wysokie przewodnictwo. Woda może przedostawać się do wód gruntowych w kopalni również podczas rutynowych operacji (np. [Sekcja 6.3](#)). Oprócz wody, w procesie przetwarzania węgla powstają duże ilości **odpadów stałych, głównie skała płonna**, które muszą być odpowiednio składowane – odpady węglowe mogą ulegać samozapłonowi i prowadzić do kwaśnego drenażu (np. [Sekcja 6.4.2](#)). Niektóre z tych skutków utrzymują się po zakończeniu eksploatacji kopalni, wymagając gruntownej mitygacji i rekultywacji.

Na ostatnim etapie węgiel jest spalany w celu wytworzenia energii elektrycznej, często w pobliskiej **elektrowni**, aby obniżyć koszty transportu. W porównaniu z innymi paliwami kopalnymi, węgiel jest bardziej podatny na wytwarzanie cząstek stałych i uwalnianie metali ciężkich, zwłaszcza rtęci, do środowiska. Pozostałości po spalaniu, zwane **popiołem lotnym**, są również bogate w metale ciężkie i wymagają właściwej utylizacji.



3. Jak przemysł paliw kopalnych wpływa na środowisko?



3.1 Jakie zanieczyszczenia emituje przemysł paliw kopalnych?

Chociaż wszyscy zdajemy sobie sprawę z globalnego wpływu paliw kopalnych pod względem emisji CO₂, społeczności mieszkające w pobliżu zakładów wydobywczych i przetwórczych borykają się z dodatkowym zestawem problemów środowiskowych i zdrowotnych. W tej sekcji podsumowano główne zanieczyszczenia, których należy się spodziewać w pobliżu tych obiektów. Niniejszy przegląd opiera się na opublikowanym w 2023 r. [Przewodniku Europejskiej Agencji Środowiskowej dotyczącym inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń powietrza](#) i dyskusjach w grupach fokusowych, a odnosi się przede wszystkim do emisji proceduralnych – innymi słowy, zanieczyszczeń emitowanych podczas regularnych operacji, a nie wypadków. Wypadki uwalniają wszystkie zanieczyszczenia wymienione poniżej, ale w znacznie wyższych stężeniach, z dramatycznymi i trwałymi skutkami dla pobliskich społeczności. Oprócz konkretnych substancji chemicznych, działalność wydobywcza i przetwórcza ma również szerszy wpływ na środowisko, w tym zmiany mikroklimatu, obniżenie poziomy wód gruntowych i powierzchniowych, deformacje gleby i osuwiska.

3.1.1 Podział ze względu na kryteria środowiskowe

Regularne wydobywanie i przetwarzanie paliw kopalnych ma wpływ przede wszystkim na **powietrze atmosferyczne**, choć może również szkodzić zbiornikom wodnym i ekosystemom lądowym.

Głównymi zanieczyszczeniami powietrza charakterystycznymi dla przemysłu paliw kopalnych są **lotne związki organiczne** (LZO). To substancje chemiczne zawierające węgiel, występujące głównie w postaci gazów przy powszechnych ciśnieniach i temperaturach, chociaż niektóre związki można wykryć również w wodzie i glebie. Do tej kategorii należą metan, benzen, toluen i wielopierścieniowe



węglowodory aromatyczne (WWA) (**Box 2**). Na określonych etapach rafinacji ropy naftowej i spalania węgla uwalniane są również gazy zawierające siarkę, takie jak dwutlenek siarki (SO_2) i siarkowodór (H_2S). Określone LZO i chemikalia zawierające siarkę są głównymi czynnikami wywołującymi nieprzyjemne zapachy często pochodzące z obszarów przemysłowych.

Przemysł paliw kopalnych emituje także zanieczyszczenia związane z ogólnymi procesami spalania, takie jak **pył zawieszony** (PM), tlenki azotu (NO i NO_2 , oznaczane jako NO_x), SO_2 , tlenek węgla i CO_2 . Branże te emitują również **metale ciężkie** w postaci gazów (np. rtęć) lub cząstek stałych. Połączenie zanieczyszczeń zależy od takich czynników jak rodzaj paliwa, jego specyficzny skład i techniczne aspekty procesu przemysłowego (zobacz [Sekcja 3.1.2](#)).

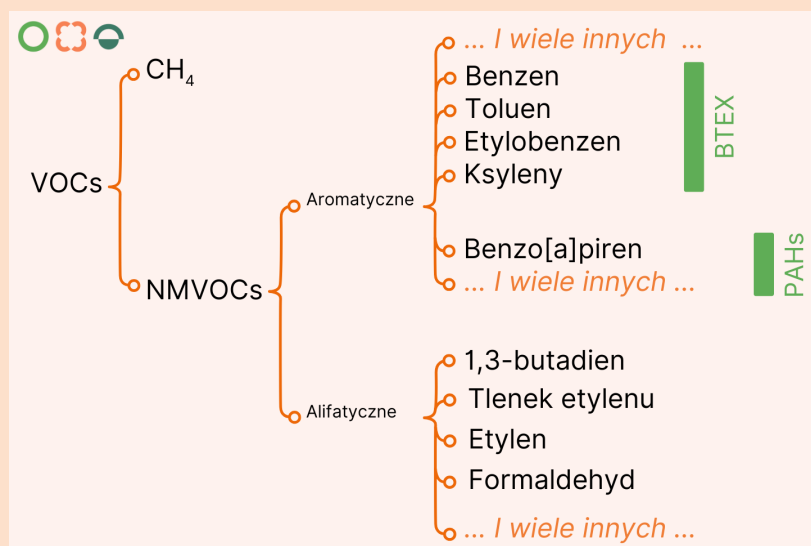
Box 2. Czym są lotne związki organiczne (LZO)?

Związki organiczne to substancje chemiczne zawierające wyłącznie węgiel (C), wodór (H), niekiedy także tlen, azot i siarkę, obejmujące tysiące gatunków o różnych właściwościach. Ze względu na tę różnorodność, klasyfikacja tych cząsteczek jest trudna.

Tutaj definiujemy lotne związki organiczne (LZO) jako cząsteczki obecne głównie w powietrzu w standardowych temperaturach i ciśnieniach – chociaż niektóre z nich można również znaleźć w wodzie i glebie (Box 3). LZO obejmują metan (CH_4) i inne związki zwane łącznie niemietanowymi lotnymi związkami organicznymi (NM LZO). NM LZO obejmują związki alifatyczne, takie jak 1,3-butadien, tlenek etylenu, etylen i formaldehyd oraz związki aromatyczne, takie jak benzen (B), toluen (T), etylobenzen (E), ksyleny (X) i wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), takie jak benzo[a]piren. Kolejnymi LZO są węglowodory niemietanowe. To podzbiór NM LZO, który obejmuje cząsteczki



zbudowane wyłącznie z węgla i wodoru, w tym 1,3-butadien (C_4H_6) i etylen (C_2H_2). Nie należą do nich tlenek etylenu (C_2H_4O) i formaldehyd (CH_2O), które zawierają również tlen (O). W celu uniknięcia nieporozumień, w niniejszej publikacji przyjęto klasyfikację przedstawioną na Rys. 3.



Rys. 3 Uproszczona klasyfikacja lotnych organicznych związków chemicznych przyjęta w niniejszej broszurze. Skróty zostały wyjaśnione w tekście.

Przemysł paliw kopalnych może również zanieczyszczać **ekosystemy wodne**, choć w przypadku regularnych operacji dotyczy to głównie ścieków generowanych podczas wydobycia i wstępnego przetwarzania. W zależności od lokalnej geologii, rodzaju paliwa i etapu procesu, ścieki te mogą zawierać wysoki poziom **sol** (często chlorku sodu), **kwasów** (głównie kwasu siarkowego), **metali ciężkich**, **chemikaliów organicznych** i **pierwiastków promieniotwórczych** (głównie radu). Związki organiczne pochodzące z paliwa nazywane są węglowodorami ropopochodnymi lub TPH (total petroleum hydrocarbons; zobacz Box 3). Nieprawidłowo zarządzane ścieki mogą przedostać się do pobliskich zbiorników wodnych, wód gruntowych i ekosystemów lądowych, wyrządzając w ten sposób znaczne szkody.



Box 3. Co to są węglowodory ropopochodne (TPH)?

TPH to kolejny akronim odnoszący się do bliżej nieokreślonego zbioru substancji chemicznych, w tym związków alifatycznych i aromatycznych. Podobnie jak produkty rafinacji ropy naftowej ([Sekcja 2.2.2](#) i Rys. 2), są klasyfikowane według liczby atomów węgla. Na przykład związki organiczne związane z benzyną zawierają od 6 do 10 atomów węgla, natomiast związki organiczne związane z olejem napędowym zawierają od 10 do 22 atomów węgla. Te dwie podgrupy obejmują benzen, toluen, etylobenzen i ksyleny (w benzynie) i wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (w oleju napędowym), substancje chemiczne wykrywane głównie w powietrzu (jako część niemietanowe LZO; zob. Box 2), ale występujące również w wodzie i glebie.

3.1.2 Podział ze względu na rodzaj paliwa kopalnego i procesy produkcyjne

Wprawdzie eksploatacja paliw kopalnych uwalnia stosunkowo stałą i typową kombinację zanieczyszczeń, każdy rodzaj paliwa i etap technologiczny charakteryzuje się unikalnym „śladem węglowym”. Zrozumienie ich pochodzenia jest pomocne w określeniu, które z tych związków chemicznych powinny być traktowane priorytetowo w inicjatywach monitorowania społeczności.

Rysunek 4 (górna grafika) przedstawia najważniejsze zanieczyszczenia powietrza emitowane podczas **wydobycia** i **przetwarzania ropy naftowej** i **gazu ziemnego**. Podczas wydobywania głównymi emitentami są **LZO** pochodzące z wycieków gazu, odpowietrzania, oczyszczania ścieków i stabilizacji ropy naftowej. W zakładach stosujących praktyki spalania gazu występują dodatkowe **emisje związane ze spalaniem** – PM, NO_x, SO₂, tlenek węgla, CO₂ oraz niespalone lub częściowo spalone



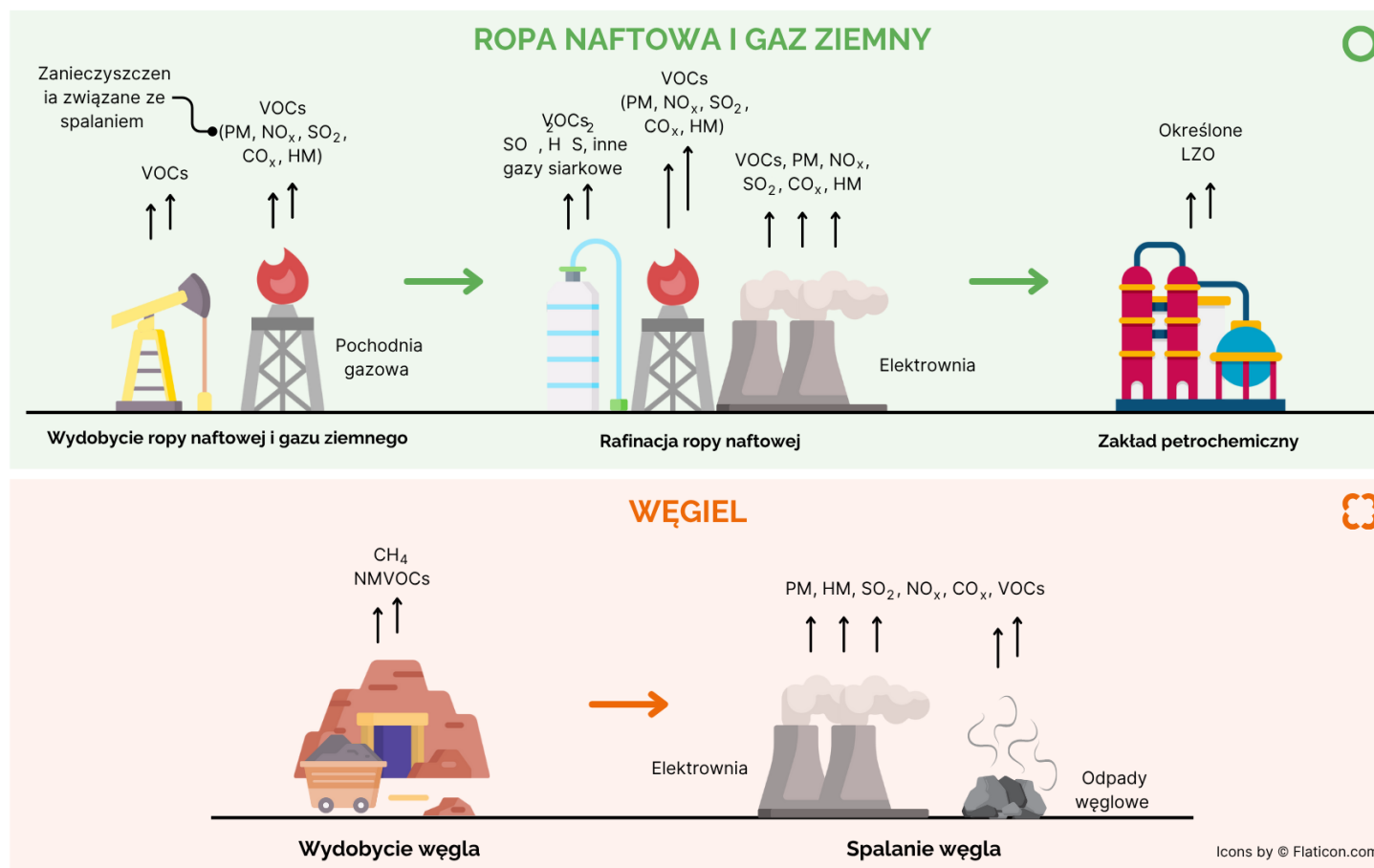
paliwa (a więc LZO). Do środowiska uwalniane są także określone metale ciężkie. W przypadku ropy naftowej są to przede wszystkim wanad i nikiel, dla gazu ziemnego głównie rtęć i arsen. Związki zawierające siarkę (z odsiarczania) oraz substancje związane ze spalaniem (z elektrowni) emitowane są także przez rafinerie. Związki zawierające siarkę obejmują SO_2 , H_2S i związki organiczne, takie jak merkaptany. Zanieczyszczenia emitowane przez **zakłady petrochemiczne** zależą od konkretnych procesów produkcyjnych, w związku z czym trudno jednoznacznie określić ich skład. Jako przykład może posłużyć produkcja polietylenu, w trakcie której do atmosfery uwalniany jest etylen. Podczas standardowych operacji (wydobycia i wstępnego oczyszczania) głównym zagrożeniem jest niewłaściwe zarządzanie ściekami.

W porównaniu do ropy naftowej i gazu ziemnego, których wydobycie i przetwarzanie wpływa głównie na lokalną jakość powietrza, **przemysł węglowy** charakteryzuje się bardziej zniuansowanym wpływem na środowisko. (Rys. 4, dolna grafika). Większość emisji powodowana jest **spalaniem węgla** w elektrowniach zlokalizowanych zazwyczaj w pobliżu kopalni. W odróżnieniu od ropy naftowej i gazu, uwalnia ono – oprócz ogólnych zanieczyszczeń związanych ze spalaniem – więcej **cząstek stałych i metali ciężkich**. Sam proces wydobycia uwalnia jedynie metan i LZO uwięzione w skałach. Nieprawidłowe zarządzanie odpadami węglowymi może doprowadzić do ich samozapłonu i uwolnienia dalszych zanieczyszczeń związanych ze spalaniem (zobacz [Sekcję 6.4.2](#)).

Górnictwo węglowe ma również znaczący wpływ na pobliskie **ekosystemy wodne i lądowe**. W kontakcie z wodą odpady węglowe uwalniają **sole, kwasy i metale ciężkie** zależące od składu chemicznego rudy. Przykładowo, węgiel zawierający piryt (minerał składający się z żelaza i siarki) w reakcji z wodą uwalnia kwas siarkowy, a złoża węgla bogate w halogenki (jak w Polcse; zobacz [Sekcję 6.3](#)) po zwilżeniu



tworzą roztwory o zasoleniu wyższym woda morska. Węgiel może wejść w kontakt z wodą podczas procesu wydobywania (na przykład podczas płukania urobku), a także podczas deszczu nad odkrywkami. Wynikający z nieprawidłowego zarządzania wodami technologicznymi jak również i ściekami przemysłowymi, nadmierny wzrost zasolenia, kwasowości i toksycznych metali może szkodzić lokalnym ekosystemom.



Rys. 4 Schemat wpływu wydobywania i przetwarzania paliw kopalnych na środowisko. Wycieki incydentalne i inne wypadki nie zostały uwzględnione. Legenda: HM = metale ciężkie; CO_x = tlenki węgla (tlenek węgla i CO₂); VOCs = lotne związki organiczne (ang. volatile organic compounds); NMVOCs = niemetanowe lotne związki organiczne (ang. von-methane volatile organic compounds). (zobacz Rys. 3).



3.2 Jak niebezpieczne są te związki chemiczne?

Zgodnie ze znanym powiedzeniem z dziedziny toksykologii chemicznej, to „dawka czyni truciznę”. Oznacza to, że każda substancja chemiczna może być szkodliwa w dużych ilościach, natomiast te uważane za niebezpieczne mogą okazać się nieszkodliwe, jeżeli występują tylko śladowo. Założenie to ma zastosowanie również w przypadku zanieczyszczeń pochodzących z przemysłu paliw kopalnych. W następnych sekcjach w oparciu o dostępne dane wyjaśniamy, w jaki sposób zanieczyszczenia związane z paliwami kopalnymi wpływają na zdrowie ludzkie ([Sekcja 3.2.1](#)) i dokonujemy przeglądu norm oraz wytycznych dotyczących jakości środowiska ([Sekcja 3.2.2](#)), które określają poziomy zanieczyszczeń uznawane za bezpieczne dla zdrowia. Dla uproszczenia skupimy się na związkach wspomnianych w poprzednich sekcjach i dyskusjach w grupach fokusowych.

3.2.1 Wpływ na zdrowie człowieka - na jakie zanieczyszczenia powinniśmy zwracać uwagę?

Zanieczyszczenia pochodzące z eksploatacji paliw kopalnych szkodzą zdrowiu ludzkiemu na wiele sposobów - mogą wpływać na płuca, mózg, a nawet powodować raka. Poniżej przedstawiamy skrócony przegląd tych skutków, zaczerpnięty z dwóch źródeł. Pierwszym z nich jest [Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem \(IARC\)](#), która klasyfikuje substancje pod względem stwarzanego przez nie ryzyka zachorowania na raka. Substancje z grupy 1 są rakotwórcze dla ludzi, substancje z grupy 2A są prawdopodobnie rakotwórcze, substancje z grupy 2B są potencjalnie rakotwórcze, a substancji z grupy 3 nie można sklasyfikować (pełna lista [tutaj](#)). Drugim jest podsumowanie toksykologiczne skutków każdego zanieczyszczenia na podstawie danych [Agencji ds. Rejestru Substancji Toksycznych i Chorób \(ATSDR\)](#).



Pełne profile toksykologiczne są dostępne po kliknięciu hiperłączy w poniższych tabelach.

Tabela 1 podkreśla zagrożenia dla zdrowia związane z kluczowymi organicznymi substancjami chemicznymi związanymi z wydobywaniem i eksploatacją paliw kopalnych. Wśród najbardziej rakotwórczych związków wyróżniają się benzen, 1,3-butadien i tlenek etylenu, a następnie benzo[a]piren, reprezentatywny wielopierścieniowy węglowodór aromatyczny. Pozostałe związki, niekoniecznie powodujące raka, mają wpływ na wątrobę, układ neurologiczny i rozwój. Metan stanowi zagrożenie przede wszystkim ze względu na swój wpływ na ocieplenie klimatu. Przy typowych stężeniach jego oddziaływanie na zdrowie ludzkie jest znikome.

Substancja zanieczyszczająca	Klasyfikacja IACR	Inne skutki zdrowotne (ATSDR)
Benzen	Grupa 1	Żołądkowo-jelitowe, hematologiczne, immunologiczne, neurologiczne [przypis]
Benzo[a]piren	Grupa 2A	Rozwojowe, wątrobowe, reprodukcyjne [przypis]
1,3-Butadien	Grupa 1	Rozwojowe, żołądkowo-jelitowe, hematologiczne, neurologiczne, rozrodcze [przypis]
CH ₄	Grupa 3	n.d.
Etylobenzen	Grupa 2B	Rozwojowe, wątrobowe, neurologiczne, nerkowe [przypis]
Tlenek etylenu	Grupa 1	Rozwojowe, endokrynologiczne, hematologiczne, neurologiczne, rozrodcze, oddechowe [przypis]
Toluen	Grupa 3	Sercowo-naczyniowe, rozwojowe, immunologiczne, neurologiczne, oddechowe [przypis]



Ksylen	Grupa 3	Skórne, wątrobowe, neurologiczne, nerkowe, oddechowe [przypis]
--------	---------	--

Tabela 1 Klasyfikacja kancerogenności IARC i inne skutki zdrowotne dla określonych substancji organicznych związanych z paliwami kopalnymi w powietrzu i wodzie (n.d. = niedostępne).

Pył zawieszony jest najbardziej szkodliwym zanieczyszczeniem uwalnianym podczas spalania paliw kopalnych. Jego emisja zwiększa ryzyko zachorowania na raka, podnosi wskaźnik zgonów, przyczynia się do chorób serca, układu oddechowego i problemów neurologicznych (Tabela 2). Wysokie poziomy dwutlenku siarki mogą mieć również wpływ na układ oddechowy, szczególnie u dzieci i grup wrażliwych. [Sekcja 6.2](#) prezentuje przypadek rafinerii ropy naftowej Saras w Sarroch – wynikające z emisji SO₂ problemy z oddychaniem u dzieci odegrały kluczową rolę w uruchomieniu aktualizacji przepisów dotyczących emisji SO₂.

Substancja zanieczyszczająca	Klasyfikacja IACR	Inne skutki zdrowotne (ATSDR)
NO _x	Grupa 3	Brak [przypis]
PM _{2.5}	Grupa 1	Śmiertelność, sercowo-naczyniowe, oddechowe, neurologiczne [przypis]
PM ₁₀	Grupa 1	
SO ₂	Grupa 3	Oddechowe [przypis]

Tabela 2 Klasyfikacja kancerogenności IARC i inne skutki zdrowotne dla zanieczyszczeń powietrza specyficznych dla spalania. PM_{2.5} i PM₁₀ to cząstki o rozmiarach odpowiednio 1 - 2,5 µm i 2,5 - 10 µm.

Na zdrowie ludzkie mogą również negatywnie wpływać niektóre metale ciężkie (Tabela 3). Spalanie ropy naftowej wiąże się z ryzykiem emisji wanadu i niklu. O ile sam wanad nie stanowi źródła zagrożenia, związki niklu są substancjami należącymi do grupy 1 czynników rakotwórczych.

Substancja zanieczyszczająca	Klasyfikacja IACR	Inne skutki zdrowotne (ATSDR)
Arsen	Grupa 1 (I, M); Grupa 3 (O)	Sercowo-naczyniowe, skórne, hormonalne, żółdkowo-jelitowe,



		hematologiczne, neurologiczne, nerkowe, oddechowe [przypis]
Kadm	Grupa 1 (M, I, O)	Żołądkowo-jelitowe, mięśniowo-szkieletowe, nerkowe, oddechowe [przypis]
Chrom (VI)	Grupa 1 (I, O) Grupa 3 (M)	Skórne, żołądkowo- jelitowe, hematologiczne, rozrodcze, oddechowe [przypis]
Ołów	Grupa 2A (I) Grupa 2B (M) Grupa 3 (O)	Rozwojowe, hematologiczne, neurologiczne, nerkowe, rozrodcze [przypis]
Merkury	Grupa 2B (O) Grupa 3 (I, M)	Sercowo-naczyniowe, rozwojowe, immunologiczne, neurologiczne, nerkowe, rozrodcze [przypis]
Mangan	n.d.	Rozwojowe, neurologiczne, rozrodcze, oddechowe [przypis]
Nikiel	Grupa 1 (I, O) Grupa 2B (M)	Skórne, rozwojowe, immunologiczne, oddechowe [przypis]
Wanad ^a	Grupa 2B	Rozwojowe, żołądkowo- jelitowe, hematologiczne, neurologiczne, oddechowe [przypis]

Tabela 3 Klasyfikacja kancerogenności IARC i inne skutki zdrowotne dla metali ciężkich (n.d. = niedostępne). Grupy rakotwórcze są podzielone na trzy kategorie: związki nieorganiczne (I), związki organiczne (O) i pierwiastki metaliczne (M). W przypadku chromu odnosimy się tylko do chromianów (znanych również jako chrom (VI) lub chrom sześciowartościowy). Klasyfikacja wanadu odnosi się tylko do pięciotlenku wanadu (^a).

Arsen i rtęć, do których emisji może dochodzić podczas spalania gazu ziemnego, powodują szereg skutków zdrowotnych, w tym nowotwory. Rakotwórcze są również pozostałe metale ciężkie, takie jak kadm i chromiany (związki z chromem na wyższym stopniu utlenienia).



3.2.2 Normy i wytyczne dotyczące jakości środowiska - przy jakich stężeniach powinniśmy się martwić?

Choć większość zanieczyszczeń związanych z eksploatacją paliw kopalnych – i ogólnie z działalnością człowieka – ma wpływ na ludzkie zdrowie, dążenie do nieskazitelnego środowiska jest nierealne. Mimo to każdy ma prawo do życia w bezpiecznym, czystym i zdrowym miejscu. Dlatego istotne jest określenie poziomów zanieczyszczeń, które można uznać za „dopuszczalne”.

W zależności od kryteriów oceny i czynników środowiskowych, „dopuszczalność” zanieczyszczenia może być definiowana na podstawie różnych wskaźników. Pierwszym z nich są wytyczne Światowej Organizacji Zdrowia (WHO). To potwierdzone naukowo zalecenia, które można wykorzystać do ogólnej oceny zanieczyszczenia. W niniejszej publikacji odnosimy się do wytycznych WHO dotyczących [jakości powietrza](#) oraz [wody](#). Drugim zestawem parametrów referencyjnych są środowiskowe normy jakości. W przeciwieństwie do wytycznych WHO, określają one prawnie wiążące limity maksymalnych poziomów zanieczyszczeń, które równoważą ochronę zdrowia z czynnikami ekonomicznymi. Skupiamy się tutaj na mających zastosowanie w państwach członkowskich Unii Europejskiej najnowszej [Dyrektywie UE w sprawie jakości powietrza](#) oraz [Dyrektywie w sprawie norm jakości środowiska](#). Bibliografia istotnych dokumentów znajdują się w [Sekcji 7](#).

Powietrze

Tabela 4 podsumowuje normy jakości powietrza i wytyczne dotyczące zanieczyszczeń emitowanych podczas eksploatacji paliw kopalnych. Stężenia są średnimi rocznymi w $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (o ile nie zaznaczono inaczej).



Zanieczyszczenie	Roczne stężenie w powietrzu (µg/m³)		Czy powoduje raka?
	WHO	UE	
Główne LZO związane z paliwami kopalnymi			
Benzen	1.7 ^a	5	*
Benzo[a]piren	0.012 ^a	0.001	
1,3-Butadien	n.d.	n.d.	*
CH ₄	n.d.	n.d.	
Etylobenzen	n.d.	n.d.	
Tlenek etylenu	n.d.	n.d.	*
Toluen	260 ^b	n.d.	
Ksilen	n.d.	n.d.	
Zanieczyszczenia związane ze spalaniem			
NO ₂	n.d. ^e	200 ^e [18] ^d	
	25 ^c	n.d. ^c	
	10	40	
PM _{2.5}	15 ^c	n.a. ^c	*
	5	25	
PM ₁₀	45 ^c	50 ^c	*
	15	40 [35] ^c	
SO ₂	n.d. ^e	350 ^e [24] ^d	
	40 ^c	125 ^c [3] ^d	
Metale ciężkie			
Arsen	0.0066 ^a	0.006 ^f	*
Kadm	0.005	0.005 ^f	*
Chrom (IV)	0.00025 ^a	n.d.	*
Ołów	0.5	0.5 ^f	
Merkury	1	n.d.	
Mangan	0.15	n.d.	
Nikiel	0.025 ^a	0.02 ^f	*
Wanad	1	n.d.	

Table 4 Wytyczne WHO dotyczące jakości powietrza i dyrektywa UE w sprawie jakości powietrza (2008/50/WE) dla wybranych zanieczyszczeń związanych z eksploatacją paliw kopalnych (n.d. = niedostępne). W ostatniej kolumnie oznaczono substancje rakotwórcze klasy 1 zgodnie z klasyfikacją IARC (Tabele 1–3). ^a Poziom referencyjny oszacowany przy założeniu akceptowalnego ryzyka dodatkowego raka w ciągu całego życia na poziomie 1 na 100 000. ^b Średnia tygodniowa. ^c Średnia dzienna. ^d Dopuszczalne przekroczenia każdego roku lub dnia. ^e Średnia godzinowa. ^f Mierzone jako zawartość metalu w PM₁₀.

W przypadku pojedynczych LZO Unia Europejska ustanawia normy jakości powietrza tylko dla benzenu i benzo[a]pirenu. Czynniki rakotwórcze klasy 1, takie jak 1,3-butadien i tlenek etylenu, są regulowane w niektórych krajach, ale nie w Europie (zobacz [Sekcję 6.1](#))



– na przykład, [Ontario](#) (Kanada) ustala maksymalną średnią roczną na poziomie $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $0,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ odpowiednio dla 1,3-butadienu i tlenku etylenu. LZO jako grupa są trudne do uregulowania ze względu na ich niejednorodność. UE nie nałożyła jeszcze prawnych limitów na całkowitą zawartość LZO w powietrzu, chociaż od 2016 r. wymaga od państw członkowskich ograniczenia emisji niemetanowych LZO. [Niektóre kraje europejskie mają również krajowe progi dla LZO w pomieszczeniach](#). Całkowita zawartość LZO powinna wynosić $\leq 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ w pomieszczeniach i $\leq 2'000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wokół obiektów przemysłowych.

W przypadku zanieczyszczeń emitowanych podczas spalania paliw kopalnych obowiązują różne limity w zależności od czasu pomiaru. Prawo europejskie zezwala jednak na przekroczenie pewnych wartości dziennych określoną liczbę razy w ciągu roku. Na przykład dla SO_2 dyrektywa w sprawie jakości powietrza określa maksymalne średnie godzinowe i dzienne na poziomie odpowiednio 350 i $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dopuszczając do 24 przekroczeń godzinowych i 3 przekroczeń dziennych rocznie. Zarówno WHO, jak i UE ustaliły roczne limity dla ozonu i tlenku węgla. Ozon, chociaż nie jest bezpośrednio związany z eksploatacją paliw kopalnych, tworzy się w obecności LZO, tlenków azotu i światła słonecznego – warunków często występujących w pobliżu rafinerii w ciągu dnia (Rys. 4). Tlenek węgla z kolei jest ubocznym produktem spalania i może występować podczas spalania ropy naftowej, gazu lub węgla – np. w elektrowniach.

W przypadku metali ciężkich UE reguluje arsen, kadm, nikiel i ołów (wszystkie określone ilościowo jako zawartość metalu w PM_{10}). WHO zaleca poziomy odniesienia również dla chromu (VI), rtęci, manganu i wanadu.

Jakkolwiek siarkowodór (H_2S) nie jest toksyczny przy typowych stężeniach na zewnątrz (podrażnienie oczu, pierwszy objaw



zdrowotny, występuje przy 15'000 - 30'000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), związek ten ma silny zapach. Celem uniknięcia podrażnień, WHO zaleca maksymalną średnią dzienną 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i średnią 30-minutową 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Woda

Tabela 5 podsumowuje średnie roczne stężenia (w $\mu\text{g}/\text{L}$) dla wybranych zanieczyszczeń wody związanych z eksploatacją paliw kopalnych. Lista nie obejmuje metanu i innych substancji obecnych tylko w powietrzu, takich jak cząstki stałe.

Zanieczyszczenie	Roczne stężenie w wodach powierzchniowych (µg/L)		Czy powoduje raka?
	WHO	EU	
Główne LZO związane z paliwami kopalnymi			
Benzen	200	10 [50] ^a	*
Benzo[a]piren	n.d.	0.00017 [0.27] ^a	
1,3-Butadien	n.d.	n.d.	*
Etylobenzen	10'000	n.d.	
Tlenek etylenu	n.d.	n.d.	*
Toluen	14'000	n.d.	
Ksilen	6'000	n.d.	
Metale ciężkie			
Arsen	200	n.a.	*
Kadm	60	0.08 – 0.25 ^b [0.45 – 1.5] ^{a,b}	*
Chrom	1'000	n.d.	*
Ołów	200	1.2 [14] ^a	
Merkury	n.d.	n.d. [0.07] ^a	
Mangan	8'000	n.d.	
Nikiel	1'400	4 [34] ^a	*
Wanad	n.d.	n.d.	

Tabela 5 Wartości referencyjne dla wód powierzchniowych zaczerpnięte z Wytycznych WHO dotyczących jakości wód rekreacyjnych i Dyrektywy UE w sprawie norm jakości środowiska (śródlądowe wody powierzchniowe; n.d. = niedostępne). Trzecia kolumna oznacza substancje chemiczne znane jako rakotwórcze klasy 1 zgodnie z klasyfikacją IARC (Tabela 1–3). ^a Maksymalne dopuszczalne stężenie w przypadku krótkotrwałego zanieczyszczenia. ^b Wartości zależą od stanu wody.



Wytyczne dotyczące jakości wody do celów rekreacyjnych są dostępne dla lotnych węglowodorów aromatycznych (BTEX) i kilku metali ciężkich i zazwyczaj mieszczą się w zakresie mg/l. W przypadku toluenu, etylobenzenu i ksylenów dopuszczalne stężenia są wyższe niż ich próg wyczuwalności zapachu - w związku z czym woda może być nadal bezpieczna, mimo wyczuwalnego nieprzyjemnego zapachu. WHO opracowała również bardziej rygorystyczne (20-krotnie niższe) wytyczne dotyczące jakości wody pitnej, które obejmują więcej substancji niż te dotyczące wód rekreacyjnych.

Dyrektywa UE w sprawie norm jakości środowiska określa średnie roczne i maksymalne dopuszczalne limity (dla zanieczyszczeń krótkoterminowych) dotyczące niektórych substancji chemicznych specyficznych dla przemysłu paliw kopalnych. Dyrektywa ta reguluje również kwestię naftalenu i antracenu - dwóch substancji z grupy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, obok rozpuszczalników zawierających chlor i innych zanieczyszczeń o znaczeniu priorytetowym.

Przewodność i pH nie są objęte przepisami UE ani wytycznymi WHO, lecz stanowią cenne wskaźniki poziomu zanieczyszczeń: ich pomiar jest szybki i niedrogi, a wartości poza zakresem są wyraźnymi oznakami występowania zanieczyszczeń (zobacz w [Sekcji 6.3](#) i [6.4.2](#)). Typowe wartości różnią się w zależności od warunków geologicznych; ogólnie rzecz biorąc, niezanieczyszczona woda słodka charakteryzuje się pH 6,5-8,5 i przewodnością 50-1'500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Z kolei wody zanieczyszczone przez odwadnianie kopalń mogą wykazywać pH na poziomie 2-3, natomiast ścieki przemysłowe i woda morska – przewodność odpowiednio powyżej 10 000 i 55 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.



Illustrations by Storyset

4. Jakich narzędzi używać do monitorowania stanu środowiska?



Głównym celem projektu ERICA jest pomoc osobom mieszkającym w pobliżu zakładów przemysłu wydobywczego paliw kopalnych w gromadzeniu wiarygodnych informacji na temat jakości lokalnego środowiska. W tej sekcji przedstawiono przystępne cenowo narzędzia do monitorowania jakości powietrza i wody, ze szczególnym uwzględnieniem zanieczyszczeń opisanych w [Sekcji 3.1](#): LZO, H₂S, SO₂, i inne substancje związane ze spalaniem w powietrzu, w tym kwasy, sole, metale ciężkie i organiczne substancje chemiczne.

Narzędzia podzielono według (1) pochodzenia i kosztu oraz (2) sposobu użycia. W ramach pierwszego kryterium, wyróżniamy technologie komercyjne lub typu „zrób to sam” („do-it-yourself”, DIY). Narzędzia komercyjne mieszczą się w dwóch przedziałach cenowych – niskim (poniżej 2000 €) oraz umiarkowanym (między 2000 a 30000 €). Technologie DIY kosztują zazwyczaj poniżej 2000 €, choć niektóre z nich mogą być niewiele tańsze od tanich urządzeń komercyjnych. Technologie o umiarkowanych kosztach mogą być zbyt drogie dla osób prywatnych, ale mogą być dostępne dla organizacji pozarządowych lub innych podmiotów dysponujących środkami finansowymi. Kryterium sposobu gromadzenia danych obejmuje (1) pomiary stężeń zanieczyszczeń, (2) pobieranie próbek lub (3) rejestrowanie innych danych (takich jak georeferencyjne zdjęcia pokazujące zanieczyszczenie).

Tabela 7 zawiera przegląd tych technologii wraz z odnośnikami do odpowiednich stron internetowych. Wybrane narzędzia zostały opisane szczegółowo poniżej. Większość przystępnych cenowo i możliwych do samodzielnego wykonania narzędzi do pomiaru powietrza wykrywa cząstki stałe o różnej wielkości, a czasami także całkowitą zawartość LZO. W przypadku wody, najbardziej przystępną opcją są zestawy kolorymetryczne służące do oznaczania kwasów, metali ciężkich i innych zanieczyszczeń. Zasadniczą wadą tanich technologii jest jakość danych – choć doskonale nadają się do edukacji



i podnoszenia świadomości, przy projektach wymagających wysokiej jakości danych należy rozważyć współpracę z uniwersytetami lub laboratoriami akredytowanymi.

	Pomiary koncentracji			Pobieranie próbek		Pomiary pozostałych danych
	Komercyjne		DIY	Komercyjne	DIY	
	Niski koszt	Umarkowiany koszt		Niski koszt		
POWIETRZE	• Smart citizen kit • PurpleAir • Airnote	• Aeroqual S500	• DustBox • Frackbox • airRohr • CanAirIO • Simple Air Sensor • GLOBE sun photometer	• Radiello	• Bucket Monitor • Copper strips	• Zapach (np. OdourCollect) • Zdjęcia / kontrola wizualna • Wskaźniki biologiczne (bioindykatory)
WODA	• Zestawy kolorymetryczne – ChemMetrics – SenSafe – Modern Water RaPID assay – Hanby TPH test kit^a • Horiba LAQUAtwin compact meters • eXact iDip Photometer	• Hanna multiparametric field probe • UVF-500D Handheld Analyzer • UVF-TRILOGY Benchtop Analyzer • enviroFlu-HC 500	• Publiclab’s water sensors	• próbnik pasywny (przykład tutaj)	• prosty pojemnik	• Zdjęcia / kontrola wizualna • Wskaźniki biologiczne (bioindykatory) • Zdjęcia satelitarne

Tabela 7 Przegląd dostępnych technologii wykrywania zanieczyszczeń związanych z eksploatacją paliw kopalnych w powietrzu i wodzie. Podkreślone narzędzia zostały opisane bardziej szczegółowo poniżej. ^a Podobny system jest dostępny dla [Wykrywania całkowitych węglowodorów ropopochodnych w glebie](#).



Lokalna społeczność może odgrywać aktywną rolę poprzez zbieranie próbek i/lub gromadzenie danych terenowych. W przypadku sprawiedliwości środowiskowej „proste” obserwacje mają często większy wpływ niż dane zebrane za pomocą kosztownej aparatury (zobacz w [Sekcji 6.4.1](#)) i stanowią skuteczne narzędzia umożliwiające rozpoczęcie tego procesu.

4.1 Narzędzia do monitorowania powietrza

4.1.1 Czujniki komercyjne o niskim i umiarkowanym koszcie

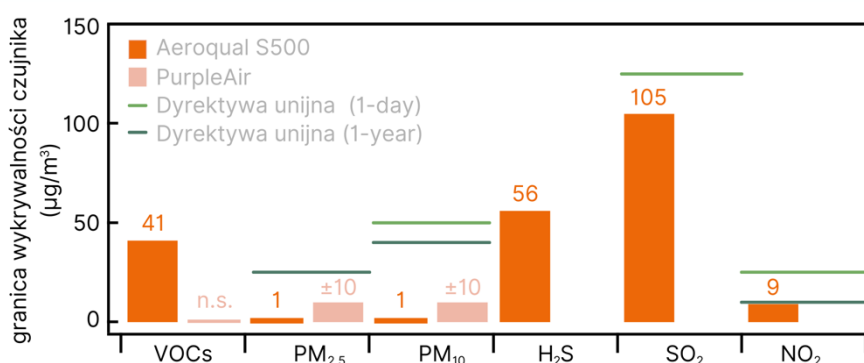
Na rynku dostępnych jest wiele niedrogich czujników do monitorowania zanieczyszczeń powietrza, w tym kilka przeznaczonych specjalnie do przemysłu paliw kopalnych. Ich działanie zależy od zanieczyszczenia - przykładowo, cząstki stałe są wykrywane za pomocą optycznych liczników cząstek, LZO za pomocą detektorów fotojonizacyjnych, a tlenki azotu, ozon i tlenek węgla za pomocą czujników tlenku metalu lub elektrochemicznych.

Ograniczeniem przy wyborze tańszych czujników powietrza może być jakość danych. The Air Quality Sensor Performance Evaluation Center ([AQ-SPEC](#)), program, który ocenia wydajność czujników poniżej 2000 USD, jest doskonałym źródłem informacji umożliwiającym identyfikację urządzeń odpowiadających określonym potrzebom. Strona internetowa AQ-SPEC zawiera obszerną listę produktów sklasyfikowanych według dostawcy i zanieczyszczenia, wraz z kosztami, specyfikacjami technicznymi i raportami wydajności porównującymi czujniki z metodami referencyjnymi.

Spośród wielu dostępnych produktów polecamy [PurpleAir](#) i [Aeroqual S500](#). Dostępny za mniej niż 300 €, PurpleAir jest szeroko stosowany do wykrywania PM_{2.5} w czasie rzeczywistym i jest popularny w



obywatelskich programach monitorowania powietrza. Najnowsze modele (PurpleAir Zen, Touch i Flex) wykrywają również całkowite LZO za pomocą czujnika tlenku metalu. Model Aeroqual S500, choć droższy (2100-2800 €), jest doskonałą alternatywą dla szerszego zakresu zanieczyszczeń, z których część jest charakterystyczna dla eksploatacji paliw kopalnych. Zmieniając głowicę czujnika, przyrząd ten może wykrywać całkowite LZO, CH₄, H₂S, SO₂, NO₂ i PM, z limitami wykrywania zwykle w dziesiątkach części na miliard (ppb) – poniżej wartości prawnych określonych przez Unię Europejską (Rysunek 5). Zgodnie z AQ-SPEC, Aeroqual S500 jest jedną z najlepszych przystępnych cenowo opcji do pomiaru całkowitej zawartości lotnych związków organicznych.



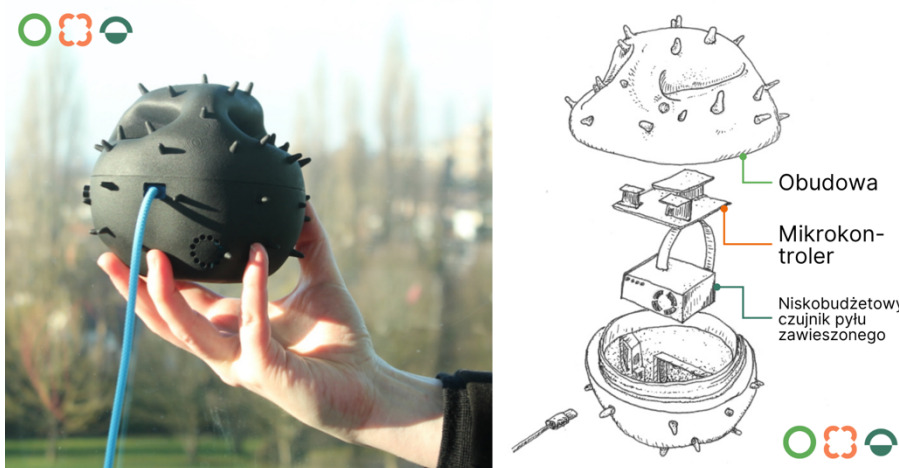
Rysunek 5 Granice wykrywalności dla dwóch zalecanych czujników jakości powietrza w porównaniu z wartościami określonymi w dyrektywie UE w sprawie jakości powietrza 2008/50/WE (Tabela 4) Strona internetowa PurpleAir nie określa limitów wykrywalności dla całkowitych lotnych związków organicznych (n.s.). Dyrektywa UE 2008/50/WE nie obejmuje całkowitych lotnych związków organicznych i H₂S; wytyczne dotyczące dopuszczalnych poziomów dla tych chemikaliów, zobacz w [Sekcji 3.2.2](#). Granice wykrywalności w ppm zostały przeliczone na µg/m³ zgodnie z opisem w [sekcji 7](#).

4.1.2 Czujniki do samodzielnego montażu (DIY)

Większość czujników powietrza typu „zrób to sam” to niedrogie urządzenia do optycznego pomiaru cząstek, zamknięte w obudowie i podłączone do rejestratora danych. Dobrym tego przykładem jest [DustBox](#), stworzony przez [Citizen Sense initiative](#). Urządzenie to



wykorzystuje przystępny cenowo czujnik PM umieszczony w wydrukowanej w technologii 3D obudowie i łączy się z siecią Wi-Fi za pośrednictwem mikrokontrolera (Rysunek 6). [Instrukcja](#) wykonania urządzenia jest szczegółowa i dokładna. Jego budowa wymaga jednak znajomości elektroniki, techniki lutowania i kodowania. Jego całkowity koszt nie jest podany, ale szacuje się go na kilkaset euro. W przypadku ropy naftowej i gazu ziemnego przydatny jest [Frackbox](#), także powstały z inicjatywy Citizen Sense. Frackbox wykrywa całkowite LZO za pomocą niedrogiego detektora fotojonizacyjnego, wraz z NO₂, ozonem i danymi meteorologicznymi. Limity detekcji wynoszą, podobnie jak w przypadku Aeroqual S500, 9 µg/m³ dla NO₂ i 20 µg/m³ dla całkowitych lotnych związków organicznych (Rysunek 5). W chwili pisanie tego tekstu urządzenie jest nadal prototypem, a szczegółowe instrukcje budowy nie są dostępne.



Rysunek 6 Obraz i schemat urządzenia DustBox 2.0. Zaczepnięte z materiałów internetowych [Citizen Sense](#).

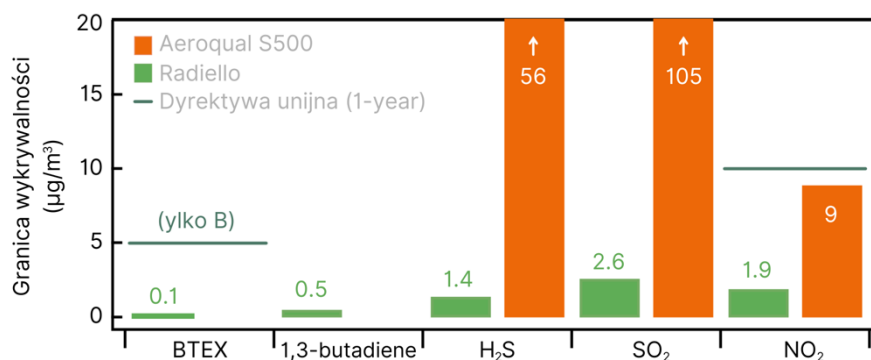
4.1.3 Próbniki komercyjne i DIY

Alternatywą dla tanich czujników jest zbieranie próbek przez lokalną społeczność. **Próbniki pasywne** – rozmieszczane na określony czas (zazwyczaj kilka tygodni), a przez to lekkie i nie wymagające zasilania – są szczególnie odpowiednie do monitorowania powietrza. **Próbniki aktywne** natomiast działają przez krótszy czas, zwykle godzinę, ale



wymagają energii elektrycznej. Po pobraniu próbek, oba typy próbników są wysyłane do laboratoriów akademickich lub certyfikowanych w celu analizy za pomocą metod standardowych. Poszczególne LZO mogą być wykrywane przy użyciu standardowej metody [EPA TO-15](#), przeznaczonej do pomiaru 97 zanieczyszczeń powietrza powyżej 0,5 ppb (około 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Koszty i limity wykrywania różnią się w zależności od laboratorium, zanieczyszczeń i zastosowanej metody.

Zarówno komercyjne, jak i wykonane samodzielnie próbniaki nadają się do projektów z zakresu nauki obywatelskiej. [Radiello](#) jest korzystną opcją w przypadku dostępu do finansowania, której koszt wynosi 400 - 600 € za 20 urządzeń (łącznie z analizą chemiczną). Firma ta oferuje szereg modeli dostosowanych do różnych zanieczyszczeń i potrzeb związanych z pobieraniem próbek. Organizacja pozarządowa [Source International](#) na przykład розміściла próbniaki Radiello w celu monitorowania H_2S wokół zakładu naftowego COVA w Val d'Agri we Włoszech, podczas gdy [badacze z Universitat Politècnica de Catalunya](#) wykorzystali je do pomiaru poziomów 1,3-butadienu wokół kompleksu petrochemicznego w Tarragonie w Hiszpanii ([Seksja 6.1](#)). W porównaniu do czujników powietrza, takich jak Aeroqual S500 ([Seksja 4.1.1](#)), próbniaki Radiello mają znacznie niższe limity wykrywalności ([Rysunek 7](#)) ale wymagają dłuższego czasu wdrożenia (od kilkudziesięciu godzin do kilku dni) i zapewniają jedynie średnie poziomy stężenia w tym okresie.



Rysunek 7 Limity wykrywalności Radiello i Aeroqual S500 a dyrektywa UE w sprawie jakości powietrza 2008/50/WE (Tabela 4). Spośród czterech związków z grupy BTEX dyrektywa UE reguluje tylko benzen (B). Odniesienia do tych numerów znajdują się w [Sekcji 7](#).

Bucket Monitor to przykład aktywnego próbnika DIY do pobierania próbek LZO i chemikaliów zawierających siarkę. Opracowany w latach 90. przez mieszkańców Kalifornii zaniepokojonych zanieczyszczeniem powietrza pochodzącym z zakładów petrochemicznych, został przetestowany i zatwierdzony przez amerykańską Agencję Ochrony Środowiska do celów obywatelskiego monitorowania jakości powietrza (zobacz w [Sekcji 6.4](#)). Bucket Monitor składa się z zamkniętego wiadra do przechowywania żywności o pojemności 20 l, zawierającego worek Tedlar o pojemności 5 l. Powietrze jest zbierane za pomocą zasilanej bateriami turystycznej pompki próżniowej lub pompki rowerowej, a próbka jest wysyłana do analizy w ciągu 24-72 godzin. Każde wiaderko kosztuje około 75 € (bez analizy), ale wymaga krótszego czasu zbierania niż próbniki pasywne, co czyni go bardziej skutecznym w wykrywaniu skoków zanieczyszczeń..

4.1.4 Pozostałe metody

Społeczności lokalne mogą korzystać z dodatkowych tanich metod gromadzenia danych na temat niskiej jakości powietrza. Częstym czynnikiem wywołującym działania lokalne jest – jak w przypadku Tarragony ([Sekcja 6.1](#)) i Sarroch ([Sekcja 6.2](#)) – nieprzyjemny zapach. Ponieważ zapachy pochodzą z różnych rodzajów działalności człowieka – nie tylko z rafinerii ropy naftowej i zakładów petrochemicznych –



istnieją już platformy poświęcone partycypacyjnemu mapowaniu przykrych zapachów, m.in. [OdourCollect](#) i [Smell My City](#) (dostępne w Stanach Zjednoczonych). Opracowany w ramach europejskiego projektu [D-NOSES](#), umożliwia użytkownikom rejestrowanie lokalizacji, rodzaj, intensywność i czas trwania nieprzyjemnych zapachów w dowolnym miejscu na świecie. D-NOSES uruchomił również [International Odor Observatory](#) której celem jest dzielenie się wiedzą, doświadczeniami i najlepszymi praktykami w zakresie zwalczania nieprzyjemnych zapachów.

Oprócz zgłaszania zapachów, mieszkańcy mogą też wykonywać fotografie ze wskazaniem lokalizacji zanieczyszczeń (georeferencja) lub dzielić się swoimi obserwacjami na temat lokalnej działalności przemysłowej. Gdy dane te są gromadzone na mapie, proces ten nazywany jest [“mapowaniem partycypacyjnym”](#). Dobrym przykładem możliwości tego podejścia jest partycypacyjne mapowanie spalania gazu w ekwadorskiej Amazonii ([Sekcja 6.4.1](#)).

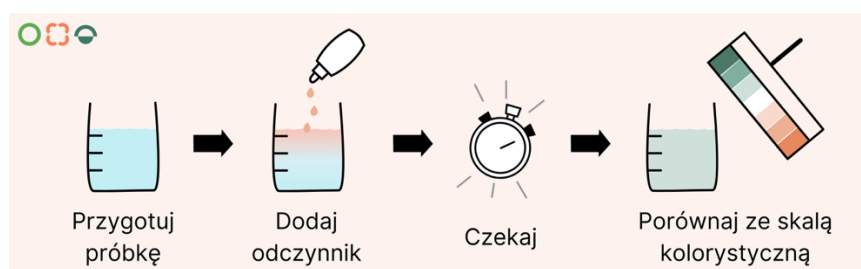
Kolejny partycypacyjny sposób oceny jakości powietrza przy jednoczesnym poznawaniu lokalnej różnorodności biologicznej oferuje **biomonitoring**. Wymaga on obserwacji występowania i stanu zdrowia określonych organizmów reagujących na dane zanieczyszczenie. Do wykrywania złej jakości powietrza wykorzystuje się najczęściej określone gatunki roślin i porostów. W ramach The Citizen Sense initiative opracowano [“Zestaw narzędzi fitosensorycznych”](#) z informacjami i wytycznymi dotyczącymi wykrywania zanieczyszczenia powietrza za pomocą roślin. Wiele gatunków jest wrażliwych na przykład na [ozon](#): w Stanach Zjednoczonych istnieje cała sieć [“Ogrodów Ozonowych”](#). Podobnie, projekt nauki obywatelskiej [VOCE](#) w Marsylii zaangażował obywateli w [ocenę jakości powietrza](#) obserwując bioróżnorodność porostów oraz wzrost i kwitnienie petunii ([Sekcja 6](#)).



4.2 Narzędzia do monitorowania wody

4.2.1 Niskobudżetowe zestawy komercyjne

Najbardziej popularnymi zestawami do ilościowego i jakościowego badania wody są zestawy kolorymetryczne, szeroko stosowane w programach monitorowania wody (takich jak [Freshwater Watch](#)). Kosztują one zazwyczaj od 50 do 200 euro za 30 do 100 testów i są dostępne w sklepach internetowych (jak [Sigma Aldrich](#)) lub u wyspecjalizowanych dostawców (takich jak [ChemMetrics](#) i [SenSafe](#)). Zestawy kolorymetryczne są intuicyjne i szybkie w obsłudze. Działają poprzez dodanie do próbki odczynnika lub zanurzenie w niej paska testowego z odczynnikiem. Po krótkim czasie kolor próbki (lub paska) można porównać z wykresem przedstawiającym przedziały stężeń ([Rysunek 8](#)). W przypadku niektórych substancji chemicznych zestawy są dostępne w różnych zakresach stężeń, z limitami wykrywania, które mogą być zróżnicowane, lecz zazwyczaj są podawane w jednostkach na milion (ppm).



Rysunek 8 Zasada działania zestawu kolorymetrycznego wykorzystującego płynne odczynniki.

Większość zestawów koncentruje się na ogólnych wskaźnikach jakości wody, takich jak pH i rozpuszczalne metale, w tym arsen, chromian, mangan i ołów. Kilka produktów zaprojektowano z myślą o zanieczyszczeniach przemysłowych, takich jak H_2S i substancje organiczne – niektóre zestawy ChemMetrics wykrywają na przykład występujące w wodzie [siarczki](#) i [fenole](#). Istnieją również bardziej kosztowne opcje charakterystyczne dla węglowodorów



ropopochodnych: [Modern Water RaPID Assay](#) i [Hanby TPH Test Kit](#). Pierwszy z nich, za pomocą testu immunologicznego z cząsteczkami magnetycznym, w mniej niż 60 minut określa całkowitą zawartość lotnych węglowodorów aromatycznych i węglowodorów ropopochodnych w wodzie. Drugi natomiast stanowi rozwiązanie o charakterze bardziej jakościowym, polegające na ekstrakcji próbki przy użyciu rozpuszczalnika organicznego i porównaniu koloru ekstraktu ze skalą kolorymetryczną. Oba zestawy są również dostępne do badania gleby.

4.2.2 Niskobudżetowe czujniki komercyjne

Komercyjne czujniki o przystępnej cenie służą przede wszystkim do pomiaru prostych parametrów jakości wody. Spośród wielu z nich polecamy [Horiba LAQUAtwin Compact Meters](#) oraz [eXact iDip Photometer](#). W cenie kilkuset euro Horiba oferuje kieszonkowe mierniki pH, przewodności, potencjału oksydacyjno-redukcyjnego i wybranych jonów. Zbliżony cenowo fotometr eXact iDip umożliwia – oprócz ogólnych parametrów jakości wody – ilościowe oznaczanie metali i innych zanieczyszczeń, w tym siarczków i cyjanowodoru (Rysunek 8). Wykorzystuje fotometr do ilościowego określenia zmiany koloru i oznaczającego w ten sposób stężenia.

4.2.3 Pozostałe metody

Podobnie jak w przypadku powietrza, niskokosztową alternatywą dla partycypacyjnego monitorowania jakości wody są georeferencyjne **inspekcje wizualne i zdjęcia**. [The Public Lab](#) proponuje na przykład pomocną w lokalizowaniu skażonej wody metodę rozróżniania między naturalnymi powłokami bakteryjnymi a zanieczyszczeniem ropą naftową. The Good Karma Project ([Seksja 6.1](#)) z kolei zaangażował mieszkańców do zgłaszania na [mapie online](#) zanieczyszczenia plastikowymi granulkami. **Biomonitoring jest również skuteczny w**



przypadku ekosystemów wodnych – francuskie stowarzyszenie VOCE we współpracy z lokalnym klubem nurkowym zorganizowało działania monitorujące wpływ kompleksu petrochemicznego w Marsylii na [ekosystemy wodne](#).



Illustrations by Storyset

5. Jak korzystać z danych środowiskowych i wprowadzać zmiany?



Projekty z zakresu nauki obywatelskiej dotyczące eksploatacji paliw kopalnych są często inicjowane w celu stymulowania zmian - w działalności przemysłowej, regulacjach politycznych i społeczeństwie obywatelskim. Zdobyta w ten sposób wiedza zyskuje wymiar wykraczający poza cele akademickie: umożliwia wzmocnienie pozycji obywateli, wsparcie lokalnych społeczności w sporach prawnych i pomoc w rozwiązywaniu konfliktów środowiskowych. Ta sekcja wyjaśnia, co oznacza „wiedza praktyczna” i oferuje wskazówki, jak przekuć obywatelskie projekty naukowe w realne zmiany..

5.1 Czym jest *wiedza praktyczna*?

Wiedza praktyczna (użyteczna, funkcjonalna) odnosi się do spostrzeżeń i informacji powstałych w wyniku prowadzenia badań naukowych, stwarzających warunki do wprowadzania pozytywnych zmian. Oznacza przekształcanie danych naukowych w informacje potrzebne do efektywnego prowadzenia debat publicznych, kampanii edukacyjnych i uświadamiających, a tym samym informowania o procesach decyzyjnych i wzmocniania pozycji społecznej obywateli.

W przeciwieństwie do badań akademickich, skuteczność praktycznej wiedzy zależy od złożonej interakcji czynników. Innymi słowy, zatrudnienie specjalistów zbierających dane w sposób technicznie poprawny nie wystarczy. Aby projekty przyniosły realne zmiany, należy je ściśle powiązać z konkretnymi potrzebami i zaangażować w nie przedstawicieli lokalnej społeczności oraz decydentów już na etapie planowania. Kluczowe znaczenie dla długoterminowej trwałości projektu i utrzymania aktywnego partnerstwa między wszystkimi podmiotami ma również przyjęcie różnych sposobów finansowania. Włączenie wszystkich uczestników w planowanie, gromadzenie danych i ich weryfikację ma fundamentalne znaczenie dla zapewnienia „**demokracji wiedzy**”, czyli tworzenia informacji, które są



legitymizowane przez różnych członków społeczeństwa obywatelskiego, nie tylko przez ekspertów. Zaangażowanie lokalnej społeczności w gromadzenie danych za pomocą różnych metod - wszelkich danych, nie tylko stężeń zanieczyszczeń! - jest również formą „**sprawiedliwości poznawczej**”, ponieważ nadaje znaczenie systemom wiedzy historycznie niedocenianym lub ignorowanym (na przykład rdzennych Amerykanów).

Warunkiem skuteczności wiedzy praktycznej jest uwzględnienie złożoności problemów, które ma ona rozwiązać, oraz różnorodności danych. W tym kontekście kluczowe jest prawidłowe **radzenie sobie z niepewnością**. Niepewność danych musi być jasno zdefiniowana i zakomunikowana wszystkim podmiotom. Niektórzy badacze sugerowali nawet zorganizowanie działań mających na celu wykształcenie „wyczulenia na niepewność”. Częściowo, niepewność musi być również brana pod uwagę. Efekt ten można osiągnąć poprzez przyjęcie „**post-normalnego**” **podejścia naukowego**, w którym niepewność jest uznawana za czynnik definiujący wiedzę związaną ze złożonymi kwestiami, takimi jak środowisko i zdrowie. Niepewność można również złagodzić poprzez przyjęcie niektórych strategii opisanych w następnej sekcji.

5.2 Jak stosować dane środowiskowe?

W tej sekcji podsumowano najlepsze praktyki mające na celu maksymalizację produkcji wiedzy, którą można wykorzystać w projektach nauki obywatelskiej. Praktyki te dzielą się na dwie kategorie: **społeczno-techniczne** (związane z ulepszeniami technologicznymi i zmianami organizacyjnymi) oraz **społeczno-polityczne** (skoncentrowane na normach społecznych, zachowaniach i polityce).



Najlepsze praktyki społeczno-techniczne obejmują trzy kluczowe działania (Rysunek 9, po lewej).

1. Poprawa **komunikacji i rozpoznawalności projektu** poprzez wykorzystanie istniejących platform, zaangażowanie tradycyjnych i nowoczesnych mediów komunikacyjnych oraz organizowanie bezpośrednich spotkań w celu zwiększenia zasięgu interakcji.
2. **Powiązanie** wyników projektu z **celami politycznymi** poprzez zaangażowanie osób decyzyjnych w projektowanie działania i dostosowanie wyników do priorytetów politycznych.
3. Zapewnienie **dokładności danych** poprzez szkolenia i wsparcie ze strony specjalistów.

Najlepsze praktyki społeczno-polityczne koncentrują się na trzech głównych tematach (Rysunek 9, po prawej).

1. Wybór **najlepszego sposobu zaangażowania obywatelskiego** – projekty o wyższym poziomie uczestnictwa obywateli z większym prawdopodobieństwem przyczynią się do powstania wiedzy, którą można wykorzystać w praktyce.
2. Przyjęcie **podjęcia ukierunkowanego na sprawiedliwość** poprzez zapewnienie wszystkim społecznościom dostępu do odpowiedniej wiedzy i dążenie do osiągnięcia „demokracji wiedzy”.
3. Zagwarantowanie **społecznej wiarygodności i współtworzenia danych**, uwzględnienie tradycyjnej wiedzy oraz przemyślanego zarządzania niepewnością.



SPOŁECZNO-TECHNICZNE

1. Większa rozpoznawalność i sprawna komunikacja

1.1 Utworzenie internetowego portalu informacyjnego na temat nauki obywatelskiej, w tym bazy wiedzy na temat inicjatyw w całej Europie, poruszanych tematów, narzędzi i zasobów.

1.2 Przejrzyste informowanie o stosowanych metodach i przestrzeganie dobrych praktyk.

1.3 Promowanie dostępności obywatelskich danych naukowych na istniejących lub nowo powstałych otwartych platformach oraz zapewnienie, że oficjalne systemy raportowania mogą przyjmować i uwzględniać te dane.

1.4 Skuteczna współpraca z tradycyjnymi mediami (gazety, telewizja), a także z osobami zajmującymi się komunikacją naukową; korzystanie z sieci i platform mediów społecznościowych.

1.5 Organizowanie bezpośrednich spotkań umożliwiających interakcje społeczne i docenianie sukcesów.

2. Łączenie wyników z celami polityk

2.1 Tworzenie wytycznych dla polityki środowiskowej w różnych kontekstach. Wyraźne określenie związków między obywatelskimi projektami naukowymi, założeniami Zielonego Ładu i Celami Zrównoważonego Rozwoju.

2.2 Zwiększenie świadomości organów decyzyjnych, w szczególności władz lokalnych, na temat znaczenia wyników badań obywatelskich w celu wspierania wymiany i transferu wiedzy.

3. Wysoka jakość i dokładność danych

3.1 Zapewnienie szkoleń i zasobów w zakresie metodologii zarządzania jakością danych i standardów dobrych praktyk.

3.2 Przedstawienie sposobu osiągnięcia wiarygodności danych, tak aby można było im zaufać i dostosować je do przepisów dotyczących ochrony środowiska i wymagań rządowych w zakresie monitorowania.



SPOŁECZNO-POLITYCZNE

4. Określenie odpowiedniego sposobu uczestnictwa

4.1 Uznanie najlepszego sposobu zaangażowania obywateli, biorąc pod uwagę cztery poziomy zdefiniowane przez Haklay (2013): crowdsourcing, rozproszona inteligencja, nauka uczestnicząca, ekstremalne uczestnictwo.

4.2 Wykorzystanie nauk wysoce partycypacyjnych („ekstremalnych”) w kontrowersjach środowiskowych, aby umożliwić zabranie głosu społecznościom narażonym na zanieczyszczenia.

5. Przyjęcie podejścia zorientowanego na sprawiedliwość

5.1 Uwzględnienie sprawiedliwości wiedzy – zapewnienia wszystkim społecznościom, zwłaszcza tym zmarginalizowanym lub bardziej dotkniętym kwestiami środowiskowymi, dostępu do odpowiedniej wiedzy naukowej i technicznej, biorąc pod uwagę istnienie różnych systemów wiedzy.

5.2 Dążenie do osiągnięcia demokracji wiedzy poprzez weryfikację wiedzy dostępnej w domenie publicznej.

6. Solidna społecznie jakość danych

6.1 Zwiększenie wiarygodności danych poprzez zaangażowanie szerszego grona osób w dyskusję na temat wiedzy (nie tylko tych z akredytacją instytucjonalną) i tworzenie rozbudowanych społeczności rówieśniczych (np. jury obywatelskie, grupy fokusowe, konsensus referencyjny).

6.2 Współtworzenie wiedzy poprzez uwzględnienie wielu uzasadnionych perspektyw i dialogu integracyjnego.

6.3 Przyjęcie strategii budowania wiarygodności poprzez wdrażanie zróżnicowanych technik na kolejnych etapach projektu, priorytetowo traktując szkolenia, doradztwo naukowe, publikacje i wykorzystanie w zarządzaniu.

6.4 Pokazanie, że obywatele zaangażowani w monitoring dysponują wiedzą i doświadczeniem, które pozwalają ich określić mianem ekspertów.

6.5 Zarządzanie niepewnością poprzez uznanie złożoności koprodukcji wiedzy i promowanie „wyczulenia na niepewność” poprzez szereg działań, np. seminaria angażujące interesariuszy.

Rysunek 9 Podsumowanie praktyk społeczno-technicznych i społeczno-politycznych w celu zmaksymalizowania wytwarzania użytecznej wiedzy w obywatelskich projektach naukowych.



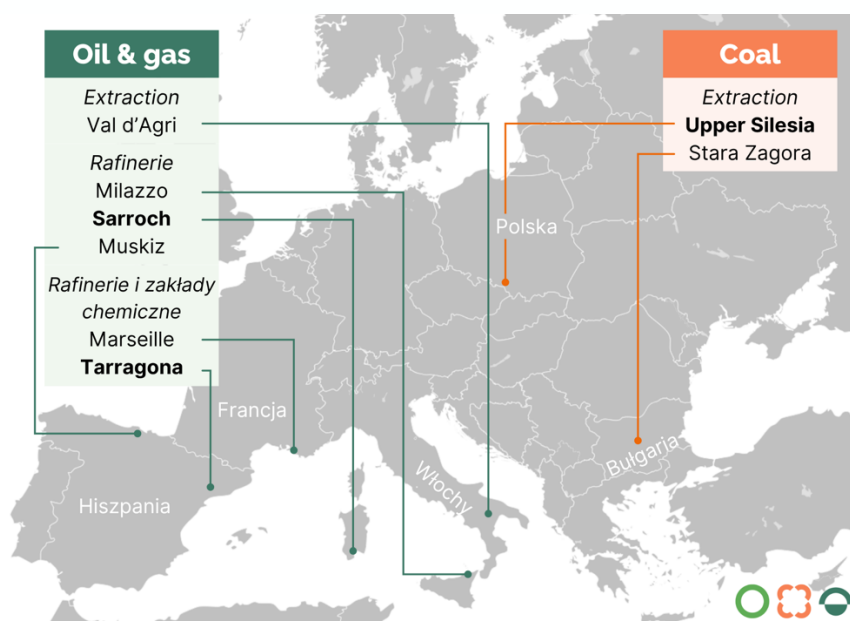
Illustrations by Storyset

6. Wybrane przykłady w Europie i na świecie



Rozdział podsumowujący opisuje obywatelskie projekty naukowe zainicjowane przez społeczności zaniepokojone skutkami lokalnej eksploatacji paliw kopalnych. Inicjatywy te angażowały różne grupy społeczne i zakończyły się sukcesem –niektóre doprowadziły do namacalnych zmian, jednak wszystkie pomogły podnieść świadomość, edukować obywateli lub dostarczyć wstępnych dowodów na zanieczyszczenie. Doświadczenia te pokazały znaczenie włączenia w działania naukowe wszystkich zainteresowanych podmiotów – władz, członków społeczności i naukowców – oraz kontekstualizacji wiedzy. Część z najbardziej udanych projektów opierała się na prostych obserwacjach – takich jak zgłaszanie nieprzyjemnych zapachów lub rozbłysków gazu – dodatkowo podkreślając, że wiedza z pierwszej ręki może być równie cenna jak dane z kosztownych instrumentów.

W wyniku naszego przeglądu literatury zidentyfikowaliśmy 8 europejskich obywatelskich projektów naukowych dotyczących eksploatacji paliw kopalnych, ukierunkowanych głównie na rafinerie i zakłady petrochemiczne w Europie Zachodniej (Rysunek 10).



Rysunek 10 Lokalizacje europejskich obywatelskich inicjatyw naukowych dotyczących wydobywania i przetwarzania paliw kopalnych. Projekty opisane w dalszej części tekstu zostały wyróżnione pogrubioną czcionką; aby



uzyskać więcej informacji na temat pozostałych inicjatyw zajrzyj do [Sekcji 7](#).

Poniżej omawiamy szczegółowo tylko trzy inicjatywy: te wokół kompleksu petrochemicznego w Tarragonie ([Sekcja 6.1](#)); rafinerii Saras na Sardynii ([Sekcja 6.2](#)); i kopalni węgla w południowej Polsce ([Sekcja 6.3](#)). [Sekcja 6.4](#) kończy się przykładami spoza Europy, które, mamy nadzieję, zainspirują przyszłe inicjatywy na rzecz sprawiedliwości środowiskowej.

6.1 Kompleks petrochemiczny w Tarragonie

6.1.1 Problem

Tarragona, położona na północnym wybrzeżu Morza Śródziemnego w Hiszpanii, jest siedzibą największego kompleksu petrochemicznego w Europie Południowej. Działający od lat 60. ubiegłego wieku ośrodek obejmuje około 30 firm i zajmuje powierzchnię ponad 1200 hektarów. Jednym z głównych przedsiębiorstw jest Repsol, właściciel rafinerii i kilku zakładów petrochemicznych. Głównymi towarami produkowanymi w Tarragonie są paliwa i tworzywa sztuczne.

Pomimo kilku katastrof ekologicznych - takich jak zrzut toksycznych ścieków do rzeki Francolí (2008 r.) i wyciek 40 000 ton benzyny do wód podziemnych (2013 r.) - mieszkańcy od dawna skarżą się na uporczywy nieprzyjemny zapach wokół kompleksu przemysłowego. Od czasu wycieku plastikowych granulek w 2018 r. rosną również obawy o zanieczyszczenie mikroplastikiem wzdłuż pobliskiego wybrzeża.

6.1.2 Inicjatywy

W 2008 roku mieszkańcy w pobliżu kompleksu petrochemicznego stworzyli [Plataforma Cel Net](#), organizację pozarządową zajmującą się



gromadzeniem niezależnych danych na temat jakości powietrza. Przy wsparciu innych organizacji, w 2014 r. Plataforma Cel Net zleciła badanie Politechnice Katalońskiej (Universitat Politècnica de Catalunya), które wykazało obecność ponad 200 niemetanowych LZO w powietrzu otaczającym obszar petrochemiczny. Niektóre z tych substancji – takie jak 1,3-butadien i tlenek etylenu – wzbudzają niepokój, ponieważ mimo rakotwórczego oddziaływania nie zostały jeszcze uregulowane prawem europejskim ([Section 3.2](#)).

Odkrycia te doprowadziły do powstania oddolnych [kampanii środowiskowych](#), takich jak “Coś brzydko pachnie”, “Czy wiesz, czym oddychasz?”, i “Ty też tym oddychasz” organizowane przez Plataforma Cell Net we współpracy z [GEPEC-EdC](#), Grupą badawczą ds. ochrony katalońskiego ekosystemu i [La Canonja3. Enginyeria Sense Fronteres](#). Podobne działania zorganizowała również katalońska grupa Inżynierów bez Granic. Inicjatywy te promowały gromadzenie większej ilości danych, edukowały społeczeństwo i opowiadały się za nowymi regulacjami. Lokalny uniwersytet przeprowadził również dalsze badania jakości powietrza w celu zidentyfikowania LZO odpowiedzialnych za nieprzyjemny zapach, zidentyfikowania innych toksycznych nieuregulowanych chemikaliów i wskazania firm emitujących te związki.

Po wycieku plastikowych granulek w 2018 r. organizacja non-profit [Good Karma Project](#) uruchomiła projekt [MEDPELLETS](#), obywatelską inicjatywę naukową, której celem jest zbadanie dynamiki zanieczyszczenia plastikowymi granulami w zachodniej części Morza Śródziemnego przy wsparciu lokalnej społeczności surfingowej.

6.1.3 Rezultaty

Chociaż Plataforma Cel Net i jej współpracownicy odegrali kluczową rolę w podnoszeniu świadomości, wciąż mają dużo pracy przed sobą.



Częściowym sukcesem było utworzenie w 2015 r. Terytorialnej Rady ds. Jakości Powietrza, która obejmuje platformy obywatelskie, administracje, ośrodki badawcze i firmy, a jej celem jest stworzenie nowego systemu kontroli, regulacji, zapobiegania i ochrony w obszarze petrochemicznym. Jednakże, ponieważ wiele LZO nie zostało jeszcze uregulowanych, Rada stoi przed wyzwaniami związanymi z osiągnięciem konkretnych rezultatów.

W 2023 r. kataloński parlament zatwierdził wniosek o zwiększenie liczby punktów monitorowania powietrza wokół kompleksu petrochemicznego i włączenie 1,3-butadienu do monitorowanych zanieczyszczeń. Inne osiągnięcia obejmują instalację dwóch stacji monitorowania powietrza w czasie rzeczywistym w miejscowości [El Morel](#) i czujniki wycieku benzenu wokół kompleksu petrochemicznego; utworzenie [Tarragona Air Quality Group](#), inicjatywy branżowej mającej na celu finansowanie badań jakości powietrza; oraz pracę [Colectivo Ronda](#), który pozwał Repsol do sądu za spowodowanie raka u pracownika. Przemysł wykazał się również pewną samoregulacją, a emisje 1,3-butadienu spadły o 40-80% od 2013 roku. W chwili pisania tego tekstu Plataforma Cel Net nadal naciska na wprowadzenie przepisów dotyczących 1,3-butadienu i tlenku etylenu, które pozostają nieuregulowane ([Sekcja 3.2.2](#)).

Informacje uzyskane w ramach projektu Good Karma w kwestii mikrodrobin plastiku doprowadziły do zwiększenia liczby kontroli w firmach produkcyjnych, co skutkowało nałożeniem kar i wszczęciem postępowań w sprawie nadużyć. Parlament Katalonii zawarł również w przygotowywanej ustawie o odpadach sekcję dotyczącą zarządzania granulatem tworzyw sztucznych. Wprowadzenie jej w życie uczyniłoby Katalonię europejskim pionierem w rozwiązywaniu tego problemu.



6.2 Rafineria ropy naftowej Sarlux

6.2.1 Problem

Działająca od 1965 r. spółka Saras S.p.A. zarządza rafinerią Sarlux w Sarroch (Sardynia), jedną z największych w Europie. Rafineria produkuje skroplony gaz ropopochodny, benzynę, naftę, olej napędowy i paliwo lotnicze, głównie dla Włoch i Hiszpanii. Przedsiębiorstwo Sarlux jest odpowiedzialne za katastrofy ekologiczne i przewlekłe zanieczyszczenie, o których od lat informują lokalne stowarzyszenia, takie jak Donne Ambiente Sardegna i Sardegna Pulita. Na początku XXI wieku korzystne warunki społeczno-polityczne pozwoliły na przekształcenie tych wysiłków w spójny projekt.

6.2.2 Inicjatywa

W 2006 r. gmina Sarroch nawiązała współpracę z Uniwersytetem we Florencji i Cagliari w celu uruchomienia "[Sarroch Ambiente e Salute](#)". Do podjęcia tej inicjatywy przyczyniło się badanie przeprowadzone w 2006 roku przez Uniwersytet we Florencji, które wykazało zwiększoną częstotliwość zachorowań na określone rodzaje nowotworów i chorób układu oddechowego u mieszkańców w pobliżu rafinerii Sarlux. Jako jedną z przyczyn tych schorzeń wskazano lokalne zanieczyszczenie powietrza. W pierwszej fazie inicjatywy (2006-2008) partnerzy zorganizowali działania upowszechniające, opublikowali wytyczne dotyczące chorób układu oddechowego u dzieci, przeprowadzili dwa badania epidemiologiczne dotyczące dzieci i jedno dotyczące jakości powietrza. Gmina zakupiła również mobilną stację do pomiaru zanieczyszczenia powietrza wokół rafinerii. Łącznie badania potwierdziły zwiększoną częstość występowania chorób układu oddechowego u dzieci i wzmocniły związek między kwestiami zdrowotnymi a wysokimi poziomami SO_2 , wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych i metali ciężkich. W 2009 r. rozpoczęła



się druga faza projektu, obejmująca dalsze badania epidemiologiczne i monitorowanie powietrza oraz utworzenie biobanku, w którym próbki biologiczne pobrane od mieszkańców mogły być przechowywane na potrzeby przyszłych badań. Biobank został otwarty w 2010 roku i działał do 2016 roku.

6.2.3 Rezultaty

Podczas „złotych lat” (2006-2009) projekt osiągnął kilka znaczących rezultatów. Najbardziej istotnym było obniżenie wartości progowej SO₂ z 500 µg/m³ do 100 µg/m³ (średnie godzinowe), co zostało uzgodnione w 2008 r. podczas konsultacji z władzami krajowymi. Podczas tego spotkania ministerstwo zmniejszyło również roczną emisję SO₂ z Sarlux z 14 000 do 7 000 ton oraz wymagało od rafinerii monitorowania emisji PM₁₀ i zainstalowania filtrów. W 2014 r. gmina odnotowała poziomy SO₂ stale poniżej limitów prawnych (wynik ten był osiągany co roku od 2009 r.) i zmniejszyła liczbę hospitalizacji z powodu problemów z układem oddechowym – choć inne choroby pozostały powyżej średniej regionalnej. Ostatnie raporty firmy Sarlux ([2022 – 2024](#)) i Uniwersytetu w Cagliari ([2022](#)) potwierdziły, że poziomy SO₂ są stale poniżej progu ustalonego przez Włochy i WHO.

Chociaż projekt „Sarroch Ambiente e Salute” miał kluczowe znaczenie dla podniesienia świadomości ekologicznej w rafinerii, zwrócił również uwagę na to, jak ważne jest silne wsparcie polityczne dla umożliwienia zmian. Z jednej strony zaangażowanie władz miejskich było kluczowe dla rozpoczęcia projektu, z drugiej jednak brak zainteresowania ze strony późniejszej administracji niewątpliwie przyczynił się do jego upadku. Według [listu](#) z Donne Ambiente, od 2021 r. nie przeprowadzono dalszych badań epidemiologicznych, a biobank zniknął.



6.3 Wydobycie węgla w Polsce

6.3.1 Problem

Na przełomie lipca i sierpnia 2022 r. na polskiej rzece Odrze doszło do ekologicznej katastrofy, w wyniku której śmierć poniosło 360 ton ryb i innych organizmów. Dochodzenia prowadzone przez polskie, niemieckie i [europejskie władze](#) jako przyczynę wskazały zakwit toksycznych alg *Pyremnesium pavum*. Namnażanie się tego organizmu, rozwijającego się w wodach słonawych, spowodowane zostało nadmiernym wzrostem zasolenia wody w rzece. Chociaż nie zidentyfikowano pojedynczego źródła zanieczyszczenia, wszystkie badania potwierdziły, że przyczyna tego zjawiska miała w znacznym stopniu charakter antropogeniczny.

Wydarzenie to – najpoważniejsza katastrofa rzeczna we współczesnej historii Europy – ponownie zwróciło uwagę na wpływ wydobycia węgla na środowisko w regionie Górnego Śląska. Znajdujące się na tym obszarze kopalnie węgla generują szczególnie zasolone ścieki - podczas wydobycia wody gruntowe przedostają się do wyrobiska i rozpuszczają halogenki, minerały zbudowane z rozpuszczalnych w wodzie soli obecnych w węglu (zobacz w [Sekcji 2.3](#)). W listopadzie 2022 r. Greenpeace Polska przeprowadziło [niezależne badania](#) ujawniające niebezpiecznie wysokie stężenia soli w kilku zrzutach ścieków z kopalń węgla – nie tylko w Odrze, ale także w Wiśle, największej rzece w Polsce. Badając możliwe przyczyny tego uchybienia, Greenpeace opisał wątpliwe zachowanie ze strony rządu krajowego, który przedłużał pozwolenia bez konieczności przeprowadzania oceny oddziaływania na środowisko. Luka ta pozwoliła firmom na kontynuowanie działalności w sposób, w jaki robiły to przed 1990 rokiem, kiedy nie obowiązywały nowoczesne przepisy środowiskowe. Podczas gdy polskie prawo zostało obecnie dostosowane do dyrektyw



UE, kopalnie, którym przedłużono pozwolenia wcześniej, działały tak, jak 40 lat temu.

W sierpniu 2022 roku polski rząd zapowiedział nagrodę w wysokości miliona złotych za wskazanie winnego, stworzenie nowoczesnego monitoringu jakości wód i krytykowaną przez ekspertów odbudowę ekosystemu Odry poprzez zarybianie. W 2023 roku w prawie wszystkich badanych punktach poziomy przewodności były nadal przekroczone. Na wysokości mariny w Gliwicach 16 lutego 2023 zanotowano 5480 $\mu\text{S}/\text{cm}$, podczas gdy norma dla wód powierzchniowych wynosi maksimum 850 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Jak donosiły media (m.in. OKO.Press) oraz organizacje ekologiczne (m.in. Greenpeace) informacje o przyczynach katastrofy oraz winne jej podmioty przekazała policji Fundacja Centralna, według której wysoko zasolone ścieki umożliwiające zakwit złotych alg zostały wpuszczone do rzeki przez kopalnie węgla kamiennego należące do dwóch spółek górniczych: Polskiej Grupy Węglowej oraz Jastrzębskiej Spółki Węglowej. Odpowiedzialni za stworzenie stanu prawnego, który umożliwił niemal nieograniczone wlewanie do Odry zasolonych ścieków, odpowiadały natomiast urzędy państwowe. Ponieważ mimo wskazania winnych, Komenda Główna Policji nie wywiązała się ze złożonej obietnicy, Fundacja złożyła pozew na podstawie art. 919 Kodeksu cywilnego na niedotrzymanie przyrzeczenia w Sądzie Okręgowym w Warszawie. Podejmowane przez Fundację działania, w tym badania naukowe i informowanie o tym opinii publicznej było realizowane w ścisłej współpracy z Greenpeace Polska.

6.3.2 Inicjatywa

Równoległe do działań Greenpeace Polska, Polski Związek Wędkarski uruchomił #WPŁYWOWI, obywatelską inicjatywę naukową prowadzoną we współpracy z bankiem BNP Paribas, firmą Expert Float



i Uniwersytetem Warszawskim. Projekt ma na celu stałe monitorowanie przewodności wód rzecznych przy użyciu “Splawika [AGUARD](#)”, przynęty wędkarskiej rejestrującej temperaturę i przewodność w czasie rzeczywistym. Rozpoczęta w kwietniu 2024 r. i zaplanowana do końca roku kampania miała na celu dotarcie do 2000 osób – tyle splawików udostępniono w ramach programu [BNP Paribas #WPŁYWOWI](#). Inicjatywa zyskała szerokie wsparcie medialne.

Chociaż inicjatywa jest zbyt świeża, aby przynieść realne zmiany, posiada duży potencjał w zakresie mobilizacji obywatelskiej, edukacji ekologicznej i podnoszenia świadomości na temat zanieczyszczenia wody. Jednocześnie Greenpeace Polska zwraca uwagę na praktyki górnicze w Polsce, domagając się ocen oddziaływania na środowisko dla wszystkich kopalń węgla, wdrożenia technologii odsalania, harmonizacji przepisów i utworzenia parku narodowego wzdłuż Odry Południowej.

6.3.3 Rezultaty

Splawik dostępny jest na [stronie producenta](#). W chwili pisania niniejszego tekstu połączona z nim aplikacja mobilna wskazuje 6221 wykonanych pomiarów dostępnych dla innych użytkowników aplikacji. Dostępna instrukcja zachęca także do zgłaszania nieprzyjemnego zapachu, niepokojącego koloru wody lub martwych ryb do Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska, na policję lub w rządowej aplikacji mObywatel.

6.4 Przykłady poza Europą

Ostatnia sekcja opisuje dwa przykłady „ekstremalnych” obywatelskich inicjatyw naukowych związanych z pozaeuropejskim przemysłem paliw kopalnych: w Ekwadorze ([Seksja 6.4.1](#)) i Mjanmie ([Seksja 6.4.2](#)). Inne przykłady obejmują pracę “[Louisiana Bucket Brigade](#)”, organizacja



non-profit korzystającej z „Bucket Monitor” ([Seksja 4.1.3](#)) na rzecz mieszkańców „Alej Nowotworowej” w Luizjanie; i „[Citizen Sense](#)”, brytyjskiej inicjatywy akademickiej pomagającej społecznościom na całym świecie monitorować zdrowie środowiskowe – na przykład na pomocą Frackbox ([Seksja 4.1.2](#)), jak w przypadku [mieszkańców obszaru w pobliżu zakładu szczelinowania hydraulicznego \(fracking\) w Pensylwanii](#). Poza Stanami Zjednoczonymi wspominamy o „[Media Awareness and Justice Initiative](#)” w Nigerii, która odegrała kluczową rolę w promowaniu sprawiedliwości środowiskowej w delcie Nigru, jednym z najbardziej zanieczyszczonych ropą naftową obszarów na świecie.

6.4.1 Zakaz pochodni gazowych w Ekwadorze

W 1989 roku UNESCO utworzyło Rezerwat Biosfery Yasuní w celu ochrony unikalnej różnorodności biologicznej i dziedzictwa kulturowego ekwadorskiej Amazonii. Niestety, część rezerwatu pokrywa się z polami naftowymi i gazowymi eksploatowanymi od lat 70. ubiegłego wieku. Główną firmą działającą na tym obszarze jest Chevron-Texaco, która swoimi działaniami wydobywczymi doprowadziła do poważnej degradacji środowiska. Pomimo faktu, że firma została już pozwana i uznana za winną, praktyki wydobywcze Chevron-Texaco – w szczególności spalanie gazu – nadal budzą obawy ze względu na ich znaczący wpływ na środowisko.

Obywatelski projekt naukowy [A.M.A.Z.O.N.Y.A.](#) – “Mapping gas flaring from below” – został uruchomiony w odpowiedzi na dwa niezależne czynniki: lokalne ruchy obywatelskie i wypowiedzi naukowców. W 2020 r. naukowcy z Uniwersytetu w Padwie (Włochy) wykorzystali dane satelitarne do identyfikacji pochodni gazowych aktywnych w latach 2010-2017 w ekwadorskiej Amazonii. Prace te ujawniły czynne obiekty również w rezerwacie Yasuní i dostarczyły dowodów na



istnienie 34 nowych, z których 12 znajdowało się na polu Tiputini, będącym obszarem chronionym. Opierając się na tych ustaleniach, A.M.A.Z.O.N.Y.A. zaangażowała lokalne społeczności tubylcze i rolników w partycypacyjne mapowanie terenu. Projekt ten miał kilka celów, w tym walidację danych satelitarnych, identyfikację nowych miejsc spalania i generowanie niezależnych, otwartych informacji, które społeczność mogłaby wykorzystać do promowania sprawiedliwości środowiskowej. A.M.A.Z.O.N.Y.A. zidentyfikowała 295 wcześniej nieoznakowanych miejsc spalania, z których część znajdowała się w obszarze ochrony całkowitej rezerwatu. Społeczność dostarczyła również dowodów na niezgłoszone przypadki ulatniania się gazu i inne rodzaje wpływu na środowisko, jak chociażby zagrożenie dla owadów i degradacja gleby. Poza Uniwersytetem w Padwie, A.M.A.Z.O.N.Y.A. zaangażowała „Unión de Afectados y Afectadas por las Operaciones Petroleras de Texaco” oraz „Fundación Alejandro Labaka”, organizację non-profit zajmującą się badaniami, promocją kultury i wsparciem dla rdzennych społeczności w północnej Amazonii.

W lutym 2020 r. wyniki te zapoczątkowały kampanię „¡Apaguen Los Mecheros!”, która obejmowała pozew wniesiony do sądu w Nueva Loja w celu zaprzestania spalania gazu w Ekwadorze. Chociaż początkowo apelacja została odrzucona, w styczniu 2021 r. zakończyła się sukcesem, dając firmom 18 miesięcy na zamknięcie wszystkich miejsc spalania gazu w pobliżu obszarów zaludnionych i do 2030 r. na całkowite zaprzestanie spalania. Pomimo sukcesu prawnego, od 2024 r. Ekwador nadal [walczy o wyegzekwowanie wyroku](#).

6.4.2 Poprawa węglowych praktyk wydobywczych w Mjanmie

W 2011 roku, po odkryciu złóż węgla w rejonie Ban Chaung, rząd Mjanmy przyznał East Star Company 25-letnią licencję na wydobycie



węgla. W 2015 r. mieszkańcy zaczęli zauważać tłące się odpady na dużej hałdzie w miejscu wydobywania. Oprócz zanieczyszczenia związanego ze spalaniem, zjawisko to spowodowało poważny niepokój mieszkańców ze względu na związane z nim ryzyko pożarów. W następstwie powtarzających się doniesień, w 2017 r. rząd nakazał East Star Company poprawę praktyk zarządzania odpadami. W odpowiedzi firma przykryła hałdę metrową warstwą ziemi i liści bananowca, która wkrótce potem zaczęła ulegać erozji. W następnym roku lokalni wolontariusze zgłosili 47 przypadków tlenia się lub spalania, podkreślając nieskuteczność działań naprawczych firmy.

Na początku 2019 r. naukowiec z Uniwersytetu Naresuan (Tajlandia) połączył siły z lokalnymi wolontariuszami w celu zaangażowania społeczności w podejmowanie decyzji dotyczących zarządzania ryzykiem. [Projekt z zakresu nauki obywatelskiej](#) rozpoczął się latem 2019 r. od dwóch badań terenowych, które zgromadziły dowody na tlenie się ziemi za pomocą kamer termowizyjnych i wizualnych. Zespół wykorzystał również przenośne urządzenia do wykrywania gazów związanych ze spalaniem węgla, w tym lotnych związków organicznych, SO_2 , H_2S i tlenku węgla. Analizy chemiczne próbek wody i gleby potwierdziły zanieczyszczenie kwaśnym drenażem kopalnianym – z wodą o pH 2,3-3,1 ([Sekcja 3.2.2](#)). Na zakończenie przeanalizowali zdjęcia i raporty z wcześniejszych incydentów, a także wyniki niezależnego pobierania próbek i oceny stanu zdrowia zebrane przez lokalną ludność w latach 2015-2019.

Po zebraniu danych badacz przeszkolił mieszkańców i poprowadził dyskusję w zakresie najnowocześniejszego zarządzania odpadami węglowymi. Choć mieszkańcy preferowali cementowanie i gaszenie pożarów, a następnie utylizację poza terenem zakładu, wyrażali także gotowość do uszczelnienia powierzchni – co było zgodne z wyborem firmy – pod warunkiem wdrożenia długoterminowego systemu



monitorowania. Opinie społeczności miały zostać przekazane władzom lokalnym w celu oceny działań naprawczych East Star Company.



Illustrations by Storyset



7. Wybrane źródła i dalsze lektury



Sekcja 2

Sekcja ta opiera się na materiałach edukacyjnych Włoskiego Urzędu ds. Węglowodorów ([“Conosciamo il gas e il petrolio”](#)), Muzeum Historii Naturalnej w Waszyngtonie ([“What are fossil fuels?”](#)), Związku Zaniepokojonych Naukowców ([“How coal works”](#)); książki [Petroleum formation and occurrence](#) (Tissot i Welte, Springer, 1987); publikacji [“Petrolio e biodiversità in Val d’Agri”](#) autorstwa A. Diantini (2016); oraz [EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook](#) (2023). Informacje dotyczące pochodni gazowych (Box 1) pochodzą z [Facchinelli i in. \(2020\)](#), strony [Earthworks](#), oraz strony [Banku Światowego](#).

Sekcja 3

Sekcja 3.1 oparta jest na danych z [EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook](#) (2023), w szczególności na fragmentach 1.B.1.a, 1.B.2.a.i, 1.B.2.b, 1.B.2.c, i 2.B. Więcej informacji na temat naturalnej radioaktywności produkowanej wody można znaleźć na stronie [USGS Fact Sheet FS-142-99 \(1999\)](#) oraz [Hosseini i in. \(2012\)](#). Informacje w Boxach 2 i 3 pochodzą głównie z [TPH Risk Evaluation at Petroleum-Contaminated Sites \(Rozdział 4, 2018\)](#) oraz z [instrukcji producenta](#).

Wytyczne dotyczące jakości powietrza pochodzą z [Globalnych wytycznych WHO dotyczących jakości powietrza](#) (2021) oraz [Wytycznych dotyczących jakości powietrza w Europie](#) (2nd Edition, 2000). Wartości referencyjne całkowitych lotnych związków organicznych pochodzą z [Niemieckiej Federalnej Agencji Ochrony Środowiska](#) (300 µg/m³; wartość dla powietrza wewnątrz pomieszczeń) oraz [Dyrektywa UE w sprawie emisji przemysłowych \(Dyrektywa 2010/75/EU\)](#) (2’000 µg/m³). Wytyczne dotyczące jakości wody pochodzą z [Guidelines on Recreational Water Quality, Volume 1: Coastal and Fresh Waters](#) (2021). Inne przydatne dokumenty nie



omówione w broszurze to [Wytyczne dotyczące jakości wody pitnej](#) (4th Edition, 2022) oraz [Wytyczne dotyczące jakości wody pitnej: Małe źródła wody](#) (2024).

Normy jakości środowiska pochodzą z najnowszej [Dyrektywy UE w sprawie jakości powietrza](#) (Dyrektywa 2008/50/EC) oraz [Dyrektywy w sprawie norm jakości środowiska](#) (Dyrektywa 2013/39/EU). Inne istotne przepisy, których nie omawiamy, obejmują europejską [Dyrektywę w sprawie emisji przemysłowych](#), [Dyrektywę w sprawie wody pitnej](#), [Ramową dyrektywę wodną](#) oraz [Dyrektywę w sprawie wód podziemnych](#). W przypadku związków, które nie są regulowane w UE, odsyłamy czytelnika do Amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska (np. dla [powietrza](#)), [Kanadyjskiej Rady Ministrów Środowiska](#), lub agencji poszczególnych państw.

Więcej informacji można znaleźć w naszym [przeglądzie istniejących narzędzi i technologii monitorowania środowiska](#).

Sekcja 4

Informacje i dane techniczne dotyczące wybranych instrumentów, o ile nie zostały podane bezpośrednio w tekście, znajdują się w [przeglądzie istniejących narzędzi i technologii monitorowania środowiska](#).

Dane z czujników Aeroqual S500 w **Rysunku 5** pochodzą ze [strony producenta](#). Granice wykrywalności (DL) w ppm zostały przeliczone na $\mu\text{g}/\text{m}^3$ za pomocą wzoru $\text{DL } [\mu\text{g}/\text{m}^3] = \text{DL } [\text{ppm}] * \text{MW } [\text{g}/\text{mol}] * 1000/24,45$, gdzie MW to masa cząsteczkowa. Dla całkowitych LZO użyliśmy $\text{MW} = 100 \text{ g}/\text{mol}$, co jest szacunkową wartością średnią.

Dane z Radiello w **Rysunku 7** pochodzą od producenta. Granice wykrywalności wynoszą $0,05\text{-}0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dla benzenu, toluenu, etylobenzenu i ksylenów (BTEx; 7-dniowa ekspozycja); $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dla



1,3-butadienu (8-godzinna ekspozycja wewnątrz pomieszczeń); 1 ppb (= 1.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) dla H_2S (ekspozycja 1-dniowa); 1 ppb (= 2,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) dla SO_2 (ekspozycja 7-dniowa); i 1 ppb (= 1,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) dla NO_2 (ekspozycja 7-dniowa). Dane dla Aeroqual S500 pochodzą z [Rysunku 5](#).

Sekcja 5

Najlepsze praktyki społeczno-polityczne w [Rysunku 9](#) pochodziły głównie z [Marres \(2018\)](#) (koncepcja „demokracji wiedzy”), [Visvanathan \(2005\)](#) (koncepcja „sprawiedliwości poznawczej”), i Functowicz i Ravetz ([1993](#), [2003](#); ramy „nauki postnormalnej”). Inni istotni autorzy to Barbara Allen, promotorka obywatelskiego projektu naukowego w Marsylii ([Sekcja 6](#)) oraz autorka książek i artykułów na temat nauki obywatelskiej i sprawiedliwości środowiskowej (np., [Allen, 2003](#); [Allen, 2017](#); [Allen, 2018](#)), a także Leona F. Davis, który przeanalizował obywatelskie projekty naukowe generujące zmiany społeczne ([Davis and Ramirez-Andreotta, 2021](#)). Pełna bibliografia znajduje się w naszym [przeglądzie najlepszych praktyk w zakresie wiedzy praktycznej](#).

Najlepsze praktyki społeczno-techniczne zostały podsumowane w dokumencie [Best Practices in Citizen Science for Environmental Monitoring](#) (Komisja Europejska, 2020) oraz dwóch publikacjach naukowych: [Turbè i in. \(2019\)](#) oraz [Hecker i in. \(2018\)](#).

Sekcja 6

Więcej informacji na temat inicjatyw nauki obywatelskiej z [Rysunku 10](#), zobacz stronę internetową organizacji pozarządowej [COVA Contro](#) i publikację [Diantini \(2016\)](#) w kontekście Val d’Agri; stronę [Coordinadora Anticoke](#) w kontekście Muskiz; [Jeanjean i in. \(2023\)](#), stronę [VOCE](#) i [EPSEAL-FOS](#) w kontekście Marsylii. Szczegółowe informacje na temat wszystkich innych inicjatyw wymienionych w



Rysunku 10 I Sekcji 6 znajdują się w naszym [przeglądzie istniejących narzędzi i technologii monitorowania środowiska](#).



Co-funded by
the European Union



www.ericaproject.eu



UNIVERSITAT DE
BARCELONA



UNIwersytet
IM. ADAMA MICKIEWICZA
W POZNANIU



Projekt otrzymał dofinansowanie z programu Unii Europejskiej Erasmus+ 2023 w ramach umowy o dofinansowanie nr 2023-1-NL01-KA220-ADU-000154929. Sfinansowane ze środków UE. Wyrażone poglądy i opinie są jedynie opiniami autora lub autorów i niekoniecznie odzwierciedlają poglądy i opinie Unii Europejskiej lub Europejskiej Agencji Wykonawczej ds. Edukacji i Kultury (EACEA). Unia Europejska ani EACEA nie ponoszą za nie odpowiedzialności.