

Ewa ADAMIEC, Jakub BARTYZEL, Elżbieta JAROSZ-KRZEMIŃSKA,
Tomasz PEŁECH-PILICHOWSKI, Mateusz RZESZUTEK, Janusz ZYŚK

Model DPSIR jako narzędzie efektywnego zarządzania jakością powietrza

Abstrakt: Decyzje i działania (odpowiedzi) podejmowane na podstawie pełnej i wiarygodnej analizy czynników sprawczych, presji, zmiany parametrów stanu i ich wpływu na środowisko, społeczeństwo oraz gospodarkę mogą z dużym prawdopodobieństwem w długoterminowej perspektywie przynieść pożądane efekty. W artykule opisano model DPSIR (*driving forces, pressures, state, impact, responses*; odpowiednio: czynniki sprawcze, presje, stan, wpływ, odpowiedzi) służący do szczegółowej analizy interakcji pomiędzy czynnikami antropogenicznymi a środowiskiem. Tworzony model DPSIR będzie skutecznym narzędziem do zarządzania jakością powietrza. W artykule przedstawiono badania prowadzone w Akademii Górniczo-Hutniczej, które zostaną wykorzystane jako jedno z wielu danych wejściowych w powstającym modelu DPSIR. Opracowywany model będzie jednym ze składowych zaawansowanego narzędzia tworzonych na AGH, w ramach Obserwatorium Transformacji Energetycznej (OTE), które umożliwi przygotowanie rekomendacji optymalnych działań dotyczących realizacji polityki energetycznej i poprawy jakości powietrza w Polsce.

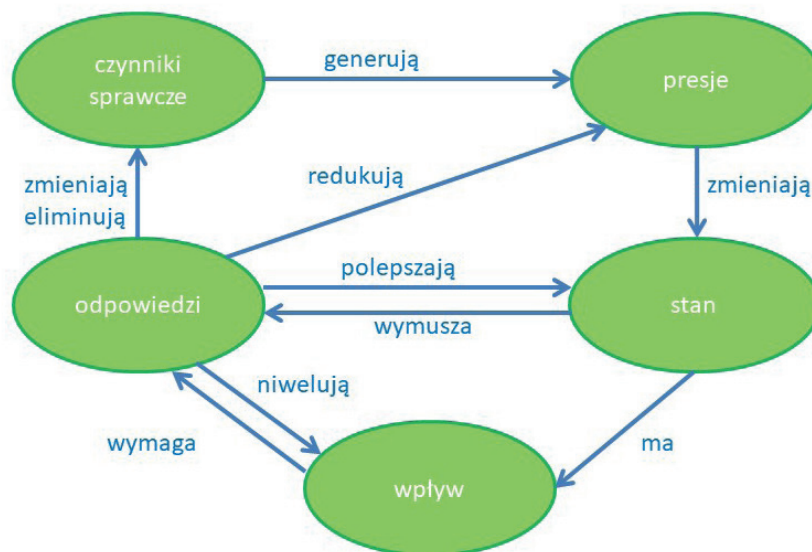
Słowa kluczowe: jakość powietrza, polityka energetyczna, model DPSIR, modelowanie, pomiary

Wstęp

Nazwa modelu DPSIR jest akronimem wyrazów: *driving forces* (czynniki sprawcze), *pressures* (presje), *state* (stan), *impact* (wpływ) oraz *responses* (odpowiedzi) (Kristensen 2004, Carr et al. 2007). Został on opracowany w latach 90. XX wieku przez Europejską Agencję Środowiska (EEA) (Jol et Kielland 1997). Model DPSIR jest rozwinięciem modelu PSR (*pressure* – presja, *state* – stan i *response* – odpowiedź) stworzonego przez Organizację Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD) w 1993 r. (OECD 1994). DPSIR służy do opisu zależności między czynnikami antropogenicznymi a środowiskiem (Rys. 1) (Zyśk et al. 2021). Pozwala on na analizę i ocenę problemów środowiskowych oraz rozwiązywanie ich zgodnie z zasadą

zrównoważonego rozwoju. Model włącza w działania różne grupy interesariuszy: polityków, naukowców, aktywistów oraz całe społeczeństwo, i umożliwia integrowanie analiz dokonywanych przez różne zespoły badawcze (Quevedo et al. 2023). Składowe modelu można zdefiniować następująco:

1. Czynniki sprawcze – pojawiają się w wyniku działalności mającej na celu zaspokajanie potrzeb człowieka, obejmują zarówno stronę podażową, jak i popytową.
2. Presje – pojawiają się w wyniku czynników sprawczych i wpływają na stan środowiska. W obrębie środowiska wyróżniamy trzy główne typy presji, tj.: konsumpcje zasobów naturalnych, emisje oraz przekształcenie terenu.
3. Stan – określa zmiany parametrów (stanu) środowiska pod wpływem działania presji; zmianie ulegają parametry chemiczne, biologiczne i fizyczne takich komponentów jak powietrze, woda, gleba oraz ekosystemy.
4. Wpływ – zmiany stanu pozwalają określić skutki środowiskowe (np. susze), społeczne (np. większa zachorowalność) oraz ekonomiczne (np. podwyższone koszty opieki zdrowotnej).
5. Odpowiedź (reakcja) – są to wszystkie działania podejmowane w celu eliminacji czynników sprawczych oraz presji, a także redukcji negatywnych zmian stanu środowiska, co powoduje zmniejszenie wpływu antropogenicznego na środowisko, społeczeństwo oraz gospodarkę. Są to działania o charakterze politycznym, ekonomicznym, społecznym i technologicznym (Carnohan et al. 2023).



Rys. 1. Zależności pomiędzy poszczególnymi elementami modelu DPSIR

Model DPSIR, w celu lepszej i pełniejszej analizy problemu, był wielokrotnie rozwijany lub modyfikowany, w tym do:

1. DAPSI(W)R(M): *driving forces* (czynniki sprawcze), *activities* (działalności), *pressures* (presje), *state* (stan), *impact on societal welfare* (wpływ na dobrobyt społeczny) oraz *responses by measures* (odpowiedzi przy użyciu środków) (Izar et al. 2022).
2. BPSIR: *behavior* (zachowanie), *pressure* (presja), *state* (stan), *impact* (wpływ), *response* (odpowiedź).
3. DPCER: *drivers* (czynniki), *pressure* (presja), *chemical state* (stan chemiczny), *ecological state* (stan ekologiczny), *response* (odpowiedź).
4. PSBR: *pressure* (presja), *state* (stan), *benefits* (korzyści), *response* (odpowiedź).
5. DPSEEAC: *driver* (czynnik), *pressure* (presja), *state* (stan), *exposure* (narażenie), *effect* (efekt), *action* (działanie), *context* (otoczenie) (von Schirnding 2002).
6. Δ DPSIR: *differential drivers* (zmiana czynników), *pressure* (presja), *state* (stan), *impact* (wpływ), *response* (odpowiedź).
7. EBM-DPSER: *ecosystem-based management/driver* (czynniki jako zarządzanie bazujące na ekosystemie), *pressure* (presja), *state* (stan), *ecosystem service* (usługa ekosystemowa), *response* (odpowiedź) (Kelble et al. 2013).

Model DPSIR ma wiele zastosowań, które zostały omówione poniżej, używany jest m.in. w energetyce. W Chinach przeprowadzono badania bezpieczeństwa energetycznego, a wśród czynników sprawczych wyodrębniono: populację, PKB, PKB na mieszkańca, stopień uprzemysłowienia i urbanizacji; w presjach: zużycie energii i elektryczności na osobę oraz elastyczność produkcji nośników energii; w stanach uwzględniono m.in. energochłonność, elastyczność zużycia nośników energii; do wpływów zaliczono emisję zanieczyszczeń oraz produkcję odpadów; finalnie jako odpowiedzi zaproponowano inwestycje w systemy redukcji emisji, zwiększenie nakładów na badania i rozwój, wzrost produkcji energii oraz zwiększenie efektywności konwersji (Yang et al. 2022). Opracowanie danych z lat 2013–2019 pochodzących z 30 chińskich prowincji i miast wykazało, że działania w zakresie innowacji technologii energii odnawialnej mają pozytywny wpływ na zielony rozwój, zaś głębokie zmiany strukturalne w przemyśle wpływają na niego negatywnie (Su et al. 2022). Wielu badaczy (Elliott 2002, Lange et al. 2010) przeprowadzało przy użyciu modelu ocenę oddziaływania farm wiatrowych na środowisko. Model był stosowany do oceny gospodarki o obiegu zamkniętym oraz gospodarki odpadami (Reich et al. 2022, Salim et al. 2023), został użyty m.in. do analizy postępowania ze

zużytych panelami fotowoltaicznymi w Indiach (Sheoran et al. 2022, Jain et al. 2022). Model DAPSI(W)R(M) posłużył do rozwiązania społeczno-środowiskowych problemów związanych z plastikiem (Izar et al. 2022). Został także wykorzystany w badaniach dotyczących środowiska wodnego, w odniesieniu zarówno do jakości wody, procesów eutrofizacji, jak i zintegrowanego zarządzania strefą przybrzeżną, rybołówstwem oraz zasobami wodnymi (Federigi et al. 2022, Gao et al. 2022, Quevedo et al. 2021). Model służy również do oceny częstotliwości występowania pożarów lasów w zależności od m.in. warunków środowiskowych, antropogenicznych, demograficznych czy też ekonomicznych (Kim et al. 2021). Pozwala też lepiej zrozumieć zależności między polityką przestrzenną a rozwojem terenów zurbanizowanych oraz zoptymalizować rozwój zielonej infrastruktury (Qu et al. 2020). Narzędzie to było również używane do oceny oddziaływania na środowisko odpadów z masek noszonych podczas pandemii COVID-19 (Tesfaldet et al. 2022). Na bazie DPSIR opracowano kompleksowy model oceny struktury miejskiego niskoemisyjnego transportu pasażerskiego i oceniono wpływ transportu na środowisko (Ladi et al. 2022, Li et al. 2023). Przy użyciu modelu możliwe jest również stawianie holistycznych ocen obejmujących znaczne obszary, wiele wskaźników i sektorów (Quevedo et al. 2023, Xiao et al. 2022)

Model DPSIR został użyty w działaniach zmierzających do poprawy jakości powietrza w Porto w Portugalii (Relvas et al. 2018). Jako czynniki sprawcze uwzględniono tam aktywności m.in. takich sektorów jak rolnictwo, gospodarstwa domowe czy ruch samochodowy. Czynniki te są zależne od innych zmiennych, takich jak wzrost ekonomiczny, wielkość populacji czy wykształcenie. W artykule jako presje wskazano emisje, które akurat w tym konkretnym przypadku okazały się elementem charakteryzującym się najmniejszą dokładnością, stanem nazwano stężenie zanieczyszczeń, wpływ określono jako zmiany zdrowia ludzkiego, a jako reakcje uwzględniono: utworzenie stref czystego transportu, redukcję emisji z sektora gospodarstw domowych, redukcję procesów

przemysłowych i emisji z tego sektora. W wyniku przeprowadzonych analiz jako najkorzystniejsze, liczone jako stosunek kosztów do korzyści zdrowotnych wyrażony w jednostkach monetarnych, wykazano redukcje emisji związane z sektorem gospodarstw domowych, a najmniej korzystne redukcje będące efektem utworzenia stref czystego transportu.

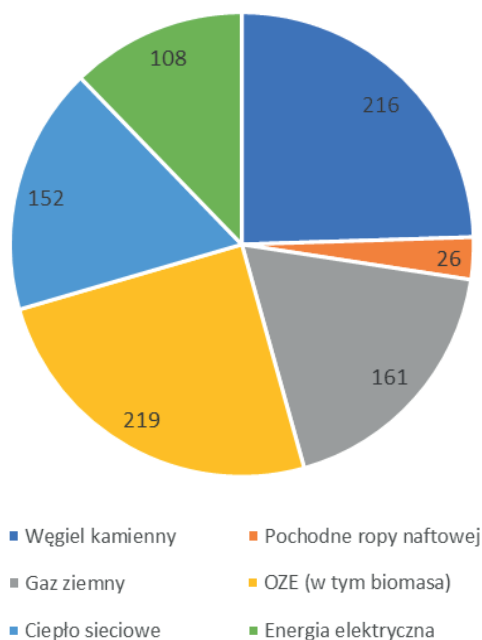
Inne badania dotyczące transportu i jakości powietrza wskazały, że w Teheranie priorytetem powinna być poprawa jakości paliw, a wśród innych proponowanych działań zaleca się: rozwój transportu publicznego, poprawę standardów emisji, bardziej restrykcyjne badania techniczne oraz zarządzanie ruchem (Mohammadzadeh et al. 2016). W badaniach nad emisjami i zanieczyszczeniami w Pekinie zaproponowano następujące rozwiązania: zwiększanie sektora usług w PKB, zwiększanie powierzchni zielonych, zwiększanie zużycia gazu w stosunku do innych nośników energii, zwiększanie liczby autobusów czy zwiększanie wydatków na ochronę środowiska (Hou et al. 2019).

Model DPSIR jest wykorzystywany do określenia rekomendacji działań, które wpłyną na poprawę jakości powietrza w Polsce. W artykule omówione zostaną badania dotyczące stanu, czyli określające stężenie zanieczyszczeń, zarówno za pomocą modelowania, jak i z wykorzystaniem wyników pomiarów rzeczywistych stopnia zanieczyszczenia środowiska. Omówione też zostaną analizy dotyczące wpływu zanieczyszczenia powietrza na zdrowie człowieka oraz na powstawanie środowiskowych kosztów zewnętrznych, czyli wynikających z działalności jednego podmiotu gospodarczego, a przeniesionych na podmioty trzecie, często na całe społeczeństwo, bez uwzględnienia odpowiedniej rekompensaty. Przedstawione zostaną również inne części modelu, mające istotny wpływ na jakość powietrza w Polsce.

Czynniki sprawcze

W przypadku Polski na jakość powietrza wpływają przede wszystkim emisje z sektora bytowo-komunalnego oraz zanieczyszczenia związane z komunikacją

samochodową, w efekcie czego głównymi czynnikami sprawczymi są przede wszystkim procesy ogrzewania oraz transport. W Polsce w dalszym ciągu do ogrzewania gospodarstw domowych zużywa się dużo paliw stałych (Rys. 2). Z roku na rok dynamicznie wzrasta również liczba samochodów, a także podróży oraz przewozów ładunków i pasażerów. W Tab. 1 pokazano, jak w latach 2010–2021 wzrastał przewóz ładunków w Polsce. Aktywności, szczególnie w tych dwóch sektorach, spowodowały istotne presje, którymi w przypadku jakości powietrza są powstające emisje zanieczyszczeń.



Rys. 2. Zużycie nośników energii w gospodarstwach domowych w 2022 r. [PJ] (Eurostat 2023)

Tab. 1. Przewóz ładunków w Polsce w poszczególnych latach [mln tkm] (Eurostat 2022)

| Rok | Przewóz ładunków |
|------|------------------|
| 2010 | 202 308 |
| 2011 | 207 651 |
| 2012 | 222 332 |
| 2013 | 247 594 |
| 2014 | 250 931 |
| 2015 | 260 713 |
| 2016 | 290 749 |
| 2017 | 335 220 |
| 2018 | 315 874 |
| 2019 | 348 952 |
| 2020 | 354 927 |
| 2021 | 379 820 |

Presje

W Polsce głównym źródłem emisji pyłów oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, których najważniejszym przedstawicielem jest benzo(a)piren, są gospodarstwa domowe, zaś głównym źródłem emisji NO_2 – transport drogowy (Tab. 2).

Podstawowym problemem presji w zarządzaniu jakością powietrza jest fakt, że emisje te nie przekładają się bezpośrednio na jakość powietrza. W związku z tym redukcja emisji z pojedynczych sektorów nie powoduje zazwyczaj widocznego efektu poprawy jakości powietrza. W przypadku presji należy również zidentyfikować emisje naturalne oraz oddziaływanie transgraniczne.

Tab. 2. Wielkość emisji zanieczyszczeń oraz udział wybranych sektorów w całkowitej emisji w 2020 r. (KOBIZE, MKIŚ 2022)

| Zanieczyszczenie | Całkowita emisja, jednostka [kt] | Udział emisji z sektora [%] | | | |
|------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------|-----------|
| | | energetyka | gospodarstwa domowe | spalanie w przemyśle | transport |
| SO_2 | 431 | 42 | 30 | 17 | 0 |
| CO | 2198 | 2 | 61 | 7 | 13 |
| NO_2 | 593 | 20 | 9 | 8 | 35 |
| TSP | 449 | 2 | 43 | 7 | 4,5 |
| PM10 | 340 | 2 | 53 | 12 | 4,5 |
| PM2,5 | 254 | 1,5 | 64 | 9 | 4 |
| WWA | 0,232 | 0,12 | 93 | 0,3 | 0,6 |

Stan

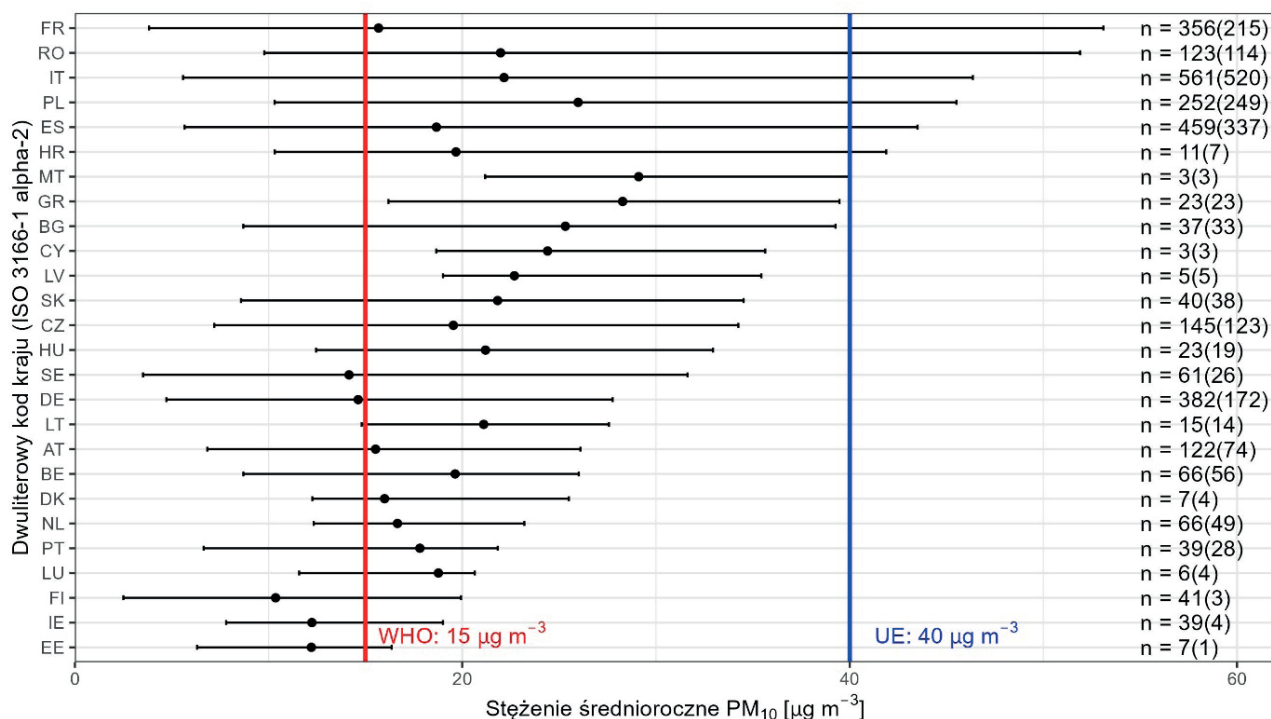
Stan jakości powietrza może być określony dwiema metodami: poprzez rzeczywisty pomiar stężeń zanieczyszczeń gazowych i pyłowych oraz z zastosowaniem modelowania rozkładu przestrzennego i czasowego ww. substancji w powietrzu. Obie techniki mają wady i zalety. Ocena jakości powietrza dokonywana na podstawie danych pomiarowych dostarcza nam co prawda dokładnych informacji o poziomie stężenia zanieczyszczeń powietrza, ale są one reprezentatywne tylko dla pewnego ograniczonego obszaru. Stworzenie gęstej sieci monitoringu jakości powietrza przy zastosowaniu pomiarów jest niemożliwe z uwagi na koszty związane z zakupem aparatury spełniającej określone wymagania oraz jej utrzymaniem i eksploatacją. W efekcie dysponujemy dokładną informacją z relatywnie niewielu punktów pomiarowych. W Akademii Górniczo-Hutniczej wykonywane są pomiary wybranych zanieczyszczeń gazowych (NO_x , SO_2 , O_3 , CO) oraz pyłowych ($\text{PM}_{2,5}$ i PM_{10}) (Brzoza-Woch et al. 2022). AGH prowadzi również monitoring podstawowych gazów cieplarnianych (CO_2 oraz CH_4) w stacji w Krakowie oraz w Wysokogórskim Obserwatorium Gazów Cieplarnianych KASLAB na Kasprowym Wierchu, gdzie wykonywane są pomiary stężeń reprezentatywne dla tej części kontynentu europejskiego.

Z kolei techniki modelowe charakteryzują się znacznie wyższą niepewnością, ale pozwalają na uzyskanie informacji o jakości powietrza na dużych obszarach w długim odcinku czasu. Możliwe jest również wykorzystanie modeli do oceny scenariuszy emisyjnych oraz identyfikacji źródeł emisji i ich wpływu na jakość powietrza. W Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie realizowane są badania w zakresie rozwoju oraz parametryzacji wybranych systemów modelowania jakości powietrza, tj. CALPUFF, AERMOD, OSPM oraz Polyphemus (Oleniacz et Rzeszutek 2018, Rzeszutek et Bogacki 2016, Rzeszutek et al. 2017, Zysk et al. 2020). Modele te z powodzeniem były wykorzystane zarówno do analizy jakości powietrza, jak i do oceny wdrażanych polityk oraz do określania

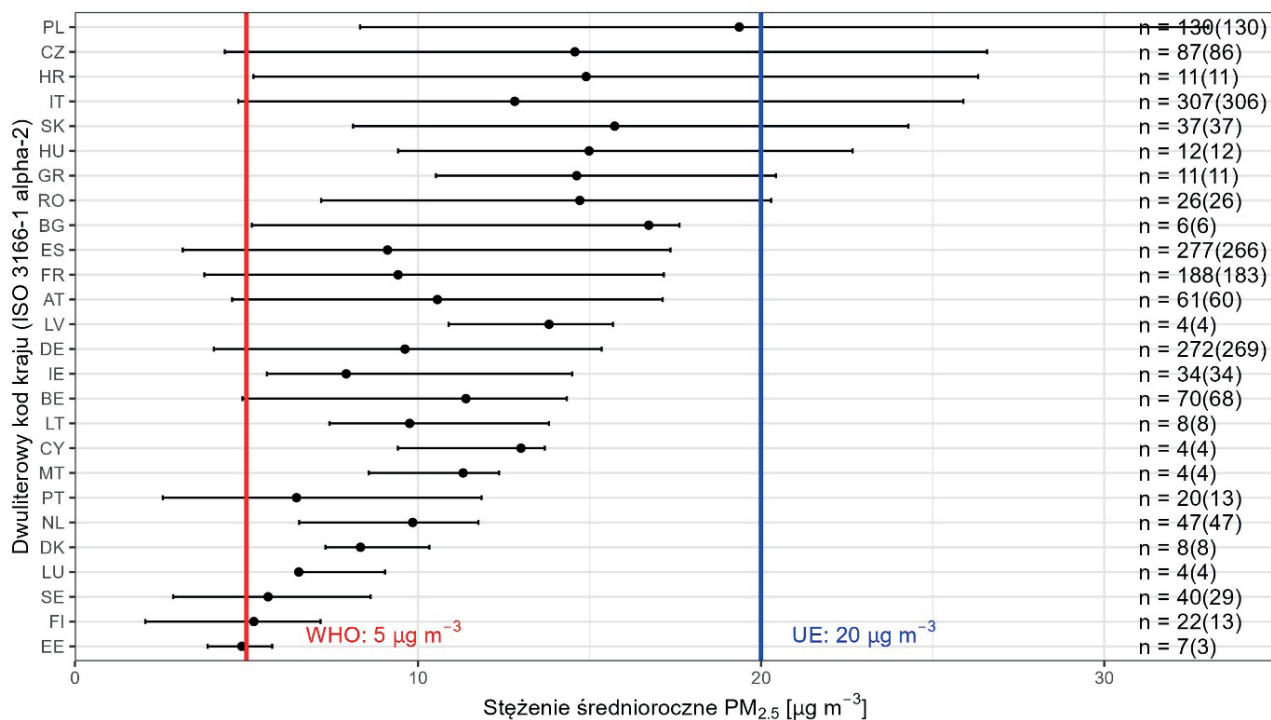
udziału poszczególnych źródeł/sektorów w ilości zanieczyszczeń. Badania przeprowadzono w różnych skalach przestrzennych, tak na obszarze Europy, jak i w poszczególnych miastach w Polsce.

W 2021 r. został zaprezentowany raport WHO przedstawiający nowe zastrzeżone wytyczne w zakresie jakości powietrza i odnoszący się do najnowszych badań i dowodów naukowych dotyczących wpływu zanieczyszczeń powietrza na zdrowie ludzi (WHO 2021). W związku z powyższym na Rys. 3–6 przedstawiono wartości stężeń średniorocznych PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, NO_2 i B(a)P, pozyskane z systemu monitoringu jakości powietrza za 2021 r. w poszczególnych krajach UE w odniesieniu do aktualnie obowiązujących standardów jakości powietrza w UE określonych w dyrektywie CAFE oraz w zaleceniach WHO (CAFE 2008).

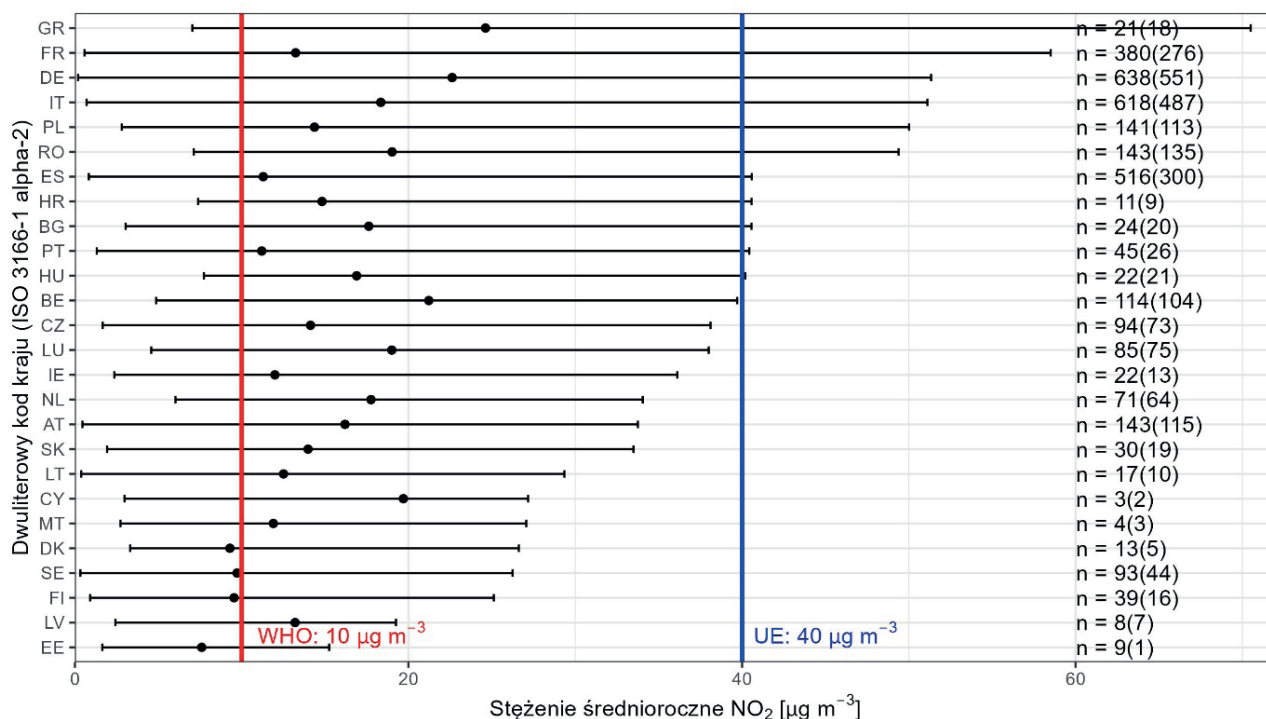
Należy zauważyć, że przedstawione wyniki w poszczególnych krajach UE nie są do końca porównywalne, ponieważ w różnych regionach Europy istnieją odmienne warunki meteorologiczne, które obok orografii i emisji są najważniejszym determinantem jakości powietrza (Oleniacz et al. 2014). W konkretnych krajach występuje również różna liczba stacji pomiarowych dla rozpatrywanych zanieczyszczeń. Przykładowo, z Rys. 6 wynika, że najbardziej rozbudowany system monitoringu jakości powietrza w zakresie B(a)P istnieje w Polsce (164 stanowiska pomiarowe). Jest to konsekwencją występowania na obszarze całej Polski wysokich stężeń B(a)P, wielokrotnie przekraczających wartości docelowe w UE (1 ng/m^3), co wynika głównie z utylizacji odpadów w sektorze bytowo-komunalnym, które zgodnie z prawem nie mogą być spalane. Należy w tym przypadku zwrócić uwagę, że przekroczenia średniorocznych poziomów docelowych B(a)P określonych w UE na 1 ng/m^3 stwierdzono aż w 12 krajach wspólnoty. Wartości stężeń zalecane przez WHO (poniżej $0,12 \text{ ng/m}^3$) zostały dotrzymane tylko w Szwecji i Holandii. Przedstawione na Rys. 3–5 wyniki pomiarów stężeń PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ i NO_2 wskazują, że we wszystkich krajach UE występują regiony, w których przekroczone zostały wartości stężeń zalecane przez WHO.



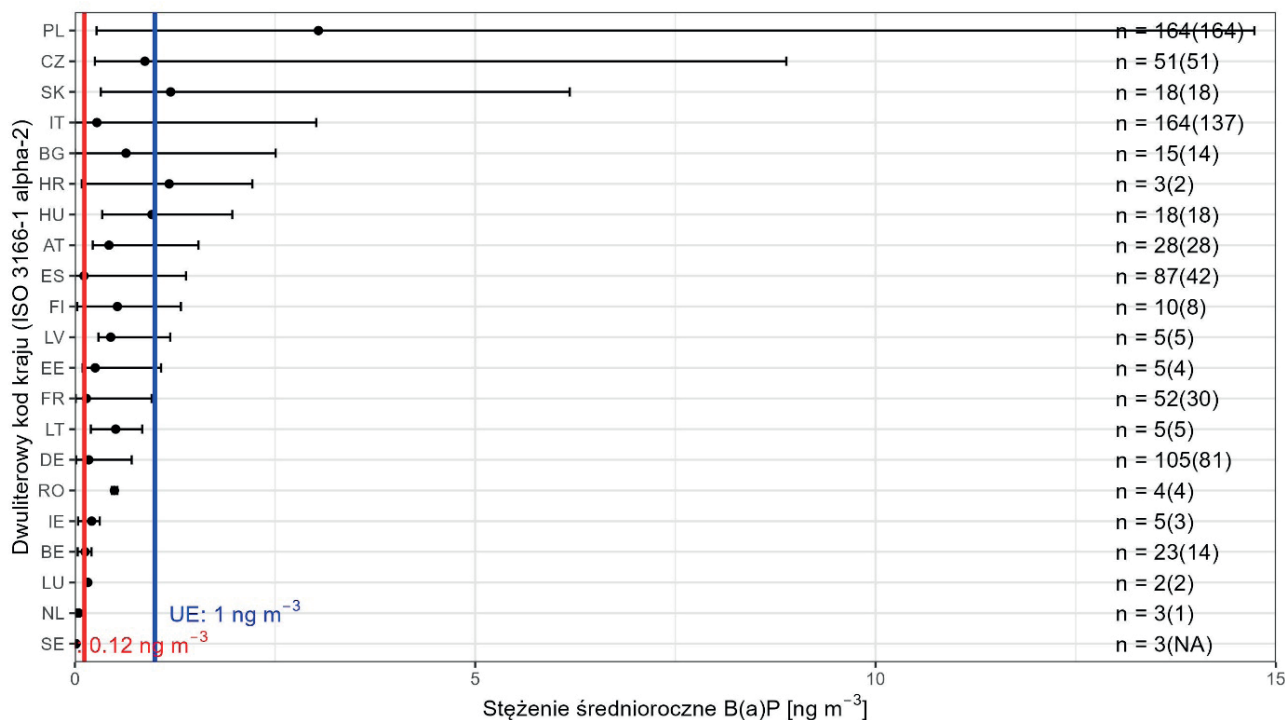
Rys. 3. Graficzne przedstawienie zakresu oraz mediany stężeń średniorocznych PM₁₀ zmierzonych w 2021 r. w stacjach monitoringu jakości powietrza w poszczególnych krajach UE (n - liczba stacji, wartość w nawiasie - liczba stacji, na których zanotowano przekroczenie poziomu wytyczonego przez WHO, czerwony - wartość standardu jakości powietrza zalecana przez WHO, niebieski - aktualna wartość standardu jakości powietrza obowiązująca w UE). Źródło: EEA 2022c



Rys. 4. Graficzne przedstawienie zakresu oraz mediany stężeń średniorocznych PM_{2,5} zmierzonych w 2021 r. w stacjach monitoringu jakości powietrza w poszczególnych krajach UE (n - liczba stacji, wartość w nawiasie - liczba stacji, na których zanotowano przekroczenie poziomu wytyczonego przez WHO, czerwony - wartość standardu jakości powietrza zalecana przez WHO, niebieski - aktualna wartość standardu jakości powietrza obowiązująca w UE). Źródło: EEA 2022c



Rys. 5. Graficzne przedstawienie zakresu oraz mediany stężeń średniorocznych NO₂ zmierzonych w 2021 r. w stacjach monitoringu jakości powietrza w poszczególnych krajach UE (n - liczba stacji, wartość w nawiasie - liczba stacji, na których zanotowano przekroczenie poziomu wytyczonego przez WHO, czerwony - wartość standardu jakości powietrza zalecana przez WHO, niebieski - aktualna wartość standardu jakości powietrza obowiązująca w UE). Źródło: EEA 2022c



Rys. 6. Graficzne przedstawienie zakresu oraz mediany stężeń średniorocznych B(a)P zmierzonych w 2021 r. w stacjach monitoringu jakości powietrza w poszczególnych krajach UE (n - liczba stacji, wartość w nawiasie - liczba stacji, na których zanotowano przekroczenie poziomu wytyczonego przez WHO, czerwony - wartość standardu jakości powietrza zalecana przez WHO, niebieski - aktualna wartość standardu jakości powietrza obowiązująca w UE). Źródło: EEA 2022c

Biorąc po uwagę przedstawiony stan jakości powietrza, aktualizację standardów jakości powietrza (dostosowanie ich do zaleceń WHO) oraz politykę UE realizowaną w ramach Europejskiego Zielonego Ładu, należy zauważyć, że konieczne będzie podjęcie szeregu ambitnych działań naprawczych w zakresie ograniczenia wielkości emisji zanieczyszczeń do powietrza. Jest to potężne wyzwanie, przed którym obecnie stoi Europa.

Wpływ

W raporcie Europejskiej Agencji Ochrony Środowiska (EEA) z 2020 r. wskazano, że głównym czynnikiem środowiskowym wpływającym na zdrowie ludzi w Unii Europejskiej są zanieczyszczenia powietrza (EEA 2022a). Prowadzą one do „utrąty zdrowych lat życia”, a nawet do przedwczesnej śmierci. W 27 krajach UE ekspozycja na pyły drobne (PM_{2,5}) była w 2022 r. przyczyną 238 tys. przedwczesnych zgonów. W przypadku ekspozycji na działanie dwutlenku azotu (NO₂) w tym samym roku stwierdzono w UE 49 tys. przedwczesnych zgonów (EEA 2022c). Odsetek ludności miejskiej narażony na ryzyko „utrąty zdrowych lat życia” lub przedwczesnej śmierci ze względu na stężenia zanieczyszczeń powietrza wynosi 71%, 96%, 95% i 89% (odpowiednio dla: PM₁₀, PM_{2,5}, O₃ i NO₂). Oznacza to, że zgodnie z aktualnym stanem wiedzy prawie cała społeczność zamieszkująca tereny miejskie jest narażona na negatywne oddziaływanie wysokich stężeń pyłów zawieszonych (PM₁₀ i PM_{2,5}), ozonu (O₃) i dwutlenku azotu (NO₂) (Adamiec et Jarosz-Krzemińska 2022). Negatywny wpływ zanieczyszczeń na zdrowie ludzi powoduje powstanie kosztów zewnętrznych. Badania wskazują, że tylko w 2018 r. emisje z sektora energetycznego w Polsce mogły wygenerować koszty zewnętrzne związane ze zdrowiem na poziomie 770–1900 mln euro (Zyśk et al. 2021).

Odpowiedzi

Wśród odpowiedzi można wymienić wiele obostrzeń prawnych (dyrektyw, ustaw oraz rozporządzeń)

i programów oddziałujących zarówno na czynniki sprawcze (zachęty do termomodernizacji domów), jak i na presje (np. poprawa jakości spalanych paliw lub standardy emisyjne urządzeń grzewczych czy samochodów), stan (monitorowanie powietrza, poziomy docelowe i dopuszczalne dla stężeń zanieczyszczeń) oraz wpływ (działania krótkoterminowe redukujące ekspozycje na zanieczyszczenia) (CAFE 2008, Rozporządzenie Ministra Środowiska 2019). Dzięki różnym narzędziom, takim jak modele transportu zanieczyszczeń w atmosferze czy modele energetyczne, możliwa jest ocena skuteczności i adekwatności realizacji poszczególnych polityk środowiskowych mających na celu poprawę jakości powietrza. Przykładem są prace nad sektorem energetycznym realizowane w Akademii Górniczo-Hutniczej, gdzie model TIMES-PL jest wykorzystywany do opracowania scenariuszy energetycznych i emisyjnych, a następnie za pomocą systemu modelowania jakości powietrza Polyphemus oblicza się stężenia zanieczyszczeń, które następnie umożliwiają ocenę wpływu danego działania na zdrowie populacji i koszty zewnętrzne (Zyśk et al. 2021). Obecnie narzędzia te są wykorzystywane i rozwijane w ramach projektów LIFE-IP EKOMALOPOLSKA oraz Obserwatorium Transformacji Energetycznej realizowanych w Akademii Górniczo-Hutniczej.

Podsumowanie

W artykule opisane zostały poszczególne elementy modelu DPSIR w odniesieniu do jakości powietrza. Model DPSIR jest wykorzystywany do rozwiązywania licznych problemów środowiskowych, jest użyteczny np. w analizie problemów jakości powietrza, które w wielu krajach, w tym w Polsce, są kluczowe dla zdrowia obywateli. W AGH prowadzone są badania, w tym: pomiary stężeń zanieczyszczeń, modelowanie transportu zanieczyszczeń w atmosferze, ocena skutków negatywnego wpływu zanieczyszczeń na zdrowie człowieka, rozwój modeli emisyjnych, mające duży wpływ na rozwój wiedzy na temat poszczególnych elementów modelu DPSIR w odniesieniu do

jakości powietrza. Tak jak wspomniano, opracowywany model będzie jednym z elementów narzędzia stworzonego w Akademii Górniczo-Hutniczej w ramach Obserwatorium Transformacji Energetycznej, które umożliwi optymalizację wytycznych dotyczących efektywnej realizacji polityki energetycznej w Polsce.

Bibliografia:

- Adamiec E., Jarosz-Krzemińska E. (2022), *Korzyści środowiskowe i zdrowotne jako efekt realizacji polityki klimatycznej i rozwoju energetyki rozproszonej*, „Energetyka Rozproszona” 8: 61–67.
- Brzoza-Woch R., Pełech-Pilichowski T., Rudnicka A., Dajda J., Adamiec E., Jarosz-Krzemińska E., Kisiel-Dorohinicki M. (2022), *Acquisition, Storing, and Processing System for Interdisciplinary Research in Earth Sciences*, Computational Science – ICCS 2022: 22nd International Conference, London, Springer International Publishing: 422–435.
- CAFE (2008), Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy.
- Carnohan S., Trier X., Liu S., Clausen L.P.W., Clifford-Holmes J.K., Hansen S.F., Benini L., McKnight U.S. (2023), *Next Generation Application of DPSIR for Sustainable Policy Implementation*, „Current Research in Environmental Sustainability” 5: 1–9.
- Carr E.R., Wingard P.M., Yorty S.C., Thompson M.C., Jensen N.K., Roberson J. (2007), *Applying DPSIR to sustainable development*, „International Journal of Sustainable Development & World Ecology” 14: 543–555.
- EEA (2022a), *Air Quality in Europe 2022*, <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022> [dostęp: 3.03.2022].
- EEA (2022b), *Air Quality Statistics. Key Air Quality Statistics for the Main Air Pollutants*, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/air-quality-statistics> [dostęp: 3.03.2022].
- EEA (2022c), *Health Impacts of Air Pollution in Europe 2022*, <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/health-impacts-of-air-pollution> [dostęp: 21.03.2022].
- Elliott M. (2002), *The Role of the DPSIR Approach and Conceptual Models in Marine Environmental Management: An Example for Offshore Wind Power*, „Marine Pollution Bulletin” 44 (6): 3–7.
- Eurostat (2022), *Goods Transported by Type of Transport (Detailed Reporting Only)*, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/RAIL_GO_TYPEPAS__custom_3599985/default/table?lang=en [dostęp: 15.02.2022].
- Eurostat (2023), *Energy Balances*, <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database> [dostęp: 15.02.2022].
- Federigi I., Balestri E., Castelli A., De Battisti D., Maltagliati F., Menicagli V., Verani M., Lardicci C., Carducci A. (2022), *Beach Pollution from Marine Litter: Analysis with the DPSIR Framework (Driver, Pressure, State, Impact, Response) in Tuscany, Italy*, „Ecological Indicators” 143: 109395.
- Gao L., Ning J., Bao W., Yan A., Yin Q. (2022), *A Study on the Marine Ecological Security Assessment of Guangdong-Hong Kong-Macao Great Bay Area*, „Marine Pollution Bulletin” 176: 113416.
- Hou F.-M., Wang Y., Zuo F.-Y. (2019), *Environmental Study on the Social and Economic Impact of Beijing's Haze Problem: Based on DPSIR Model*, „Ekoloji” 28 (107): 1299–1307.
- Izar G.M., Choueri R.B., Martinez S.T., da Rocha G.O., Albergaria-Barbosa A.C.R. (2022), *The Application of the DAPSI(W)R(M) Framework to the Plastic Pellets Chain*, „Marine Pollution Bulletin” 180: 113807.
- Jain S., Sharma T., Gupta A.K. (2022), *End-of-Life Management of Solar PV Waste in India: Situation Analysis and Proposed Policy Framework*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” 153: 111774.
- Jol A., Kielland G. (1997), *Air Pollution in Europe 1997*, EEA European Environment Agency, Copenhagen.
- Kelble C.R., Loomis D.K., Lovelace S., Nuttle W.K., Ortner P.B., Fletcher P., Cook G.S., Lorenz J.J., Boyer J.N. (2013), *The EBM-DPSER Conceptual Model: Integrating Ecosystem Services into the DPSIR Framework*, „PLoS ONE” 8 (8): e70766.
- Kim Y.-S., Rodrigues M., Robinne F.-N. (2021), *Economic Drivers of Global Fire Activity: A Critical Review Using the DPSIR Framework*, „Forest Policy and Economics” 131: 102563.
- KOBIZE, MKiŚ (2022), *Krajowy bilans emisji SO₂, NO_x, CO, NH₃, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 1990–2020*. Raport syntetyczny, Warszawa.
- Kristensen P. (2004), *The DPSIR Framework*, UNEP Headquarters, Nairobi.
- Ladi T., Mahmoudpour A., Sharifi A. (2022), *Assessing Environmental Impacts of Transportation Sector by Integrating DPSIR Framework and X-Matrix*, „Case Studies on Transport Policy” 10 (1): 434–443.
- Lange M., Burkhard B., Garthe S., Gee K., Kannen A., Lenhart H., Windhorst W. (2010), *Analysing Coastal and Marine Changes – Offshore Wind Farming as a Case Study*, Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone (LOICZ), Geesthacht.
- Li X., Zhan J., Lv T., Wang S., Pan F. (2023), *Comprehensive Evaluation Model of the Urban Low-carbon Passenger Transportation Structure Based on DPSIR*, „Ecological Indicators” 146: 109849.
- Mohammadzadeh M.J., Karbassi A.R., Nabi Bidhendi G.R., Abbaspour M. (2016), *Integrated Environmental Management Model of Air Pollution Control by Hybrid Model of DPSIR and FAHP*, „Global Journal of Environmental Science and Management” 2 (4): 381–388.
- OECD (1994), *Environmental Indicators*, Core Set. Organization for Economic Co-operation and Development, Paris.
- Oleniacz R., Rzeszutek M. (2018), *Intercomparison of the CALMET/CALPUFF Modeling System for Selected Horizontal Grid Resolutions at a Local Scale: A Case Study of the MSWI Plant in Krakow, Poland*, „Applied Sciences” 8 (11): 2301.
- Oleniacz R., Bogacki M., Rzeszutek M., Kot A. (2014), *Meteorologiczne determinanty jakości powietrza w Krakowie*, [w:] *Ochrona Powietrza w Teorii i Praktyce*, t. 2, J. Koniecznyński (red.), Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN w Zabrze, Zabrze: 163–178.
- Qu S., Hu S., Li W., Wang H., Zhang Ch., Li Q. (2020), *Interaction between Urban Land Expansion and Land Use Policy: An Analysis Using the DPSIR Framework*, „Land Use Policy” 99: 104856.
- Quevedo J.M.D., Uchiyama Y., Kohsaka R. (2023), *A Blue Carbon Ecosystems Qualitative Assessment Applying The DPSIR Framework: Local Perspective of Global Benefits and Contributions*, „Marine Policy” 128: 104462.
- Reich R.H., Vermeyen V., Alaerts L., Acker K.V. (2022), *How to Measure a Circular Economy: A Holistic Method Compiling Policy Monitors*, „Resources, Conservation and Recycling” 188: 106707.
- Relvas H., Miranda A.I. (2018), *Application of the DPSIR Framework to Air Quality Approaches*, „Air Quality, Atmosphere & Health” 11: 1069–1079.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2019 r. w sprawie programów ochrony powietrza oraz planów działań krótkoterminowych (Dz.U. 2019 poz. 1159).
- Rzeszutek M., Bogacki M. (2016), *Ocena modelu dyspersji zanieczyszczeń powietrza OSPM: studium przypadku*, „Rocznik Ochrona Środowiska” 18 (2): 351–362.
- Rzeszutek M., Szulecka A., Oleniacz R., Bogacki M. (2017), *Assessment of the AERMOD Dispersion Model over Complex Terrain with Different Types of Meteorological Data: Tracy Power Plant Experiment*, „E3S Web of Conferences” 22: 00149.

- Salim H., Jackson M., Stewart R.A., Beal C.D. (2023), *Drivers-pressure-state-impact-response of Solid Waste Management in Remote Communities: A Systematic and Critical Review*, „Cleaner Waste Systems” 4: 100078.
- von Schirnding Y.E. (2002), *Health-and-environment Indicators in the Context of Sustainable Development*, „Canadian Journal of Public Health” 93: 9–15.
- Sheoran M., Kumar P., Sharma S., Bukya M. (2022), *Current Situation Analysis of Solar PV Waste Management in India*, „Materials Today: Proceedings” 58 (2): 773–782.
- Su Y., Fan Q. (2022), *Renewable energy Technology Innovation, Industrial Structure Upgrading and Green Development From the Perspective of China's Provinces*, „Technological Forecasting and Social Change” 180: 121727.
- Tesfaldet Y.T., Ndeh N.T. (2022), *Assessing Face Masks in the Environment by Means of the DPSIR Framework*, „Science of the Total Environment” 814: 152859.
- WHO (2021), *WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide: Executive Summary*, WHO European Centre for Environment and Health, Bonn.
- Xiao Y., Chen J., Wang X., Lu X. (2022), *Regional Green Development Level and It's Spatial Spillover Effects: Empirical Evidence from Hubei Province, China*, „Ecological Indicators” 143: 109312.
- Yang B., Ding L., Zhan X., Tao X., Peng F. (2022), *Evaluation and Analysis of Energy Security in China Based on the DPSIR Model*, „Energy Reports” 8 (4): 607–615.
- Zyśk J., Wyrwa A., Suwała W., Pluta M., Olkusi T., Raczyński M. (2020), *The Impact of Decarbonization Scenarios on Air Quality and Human Health in Poland – Analysis of Scenarios up to 2050*, „Atmosphere” 11 (11): 1222.
- Zyśk J., Wyrwa A., Pluta M., Olkusi T., Suwała W., Raczyński M. (2021), *The Health Impact and External Cost of Electricity Production*, „Energies” 14 (24): 8263.

The DPSIR model as an instrument to improve air quality

Abstract: Decisions and actions taken base on analysis of the driving forces factors, pressures, changes in the parameters of the condition and their impact on the environment, society and economy may help to archive long term effects. This article describes the DPSIR (Driving Forces-Pressures-State-Impact-Responses) model for the analysis of anthropogenic and environmental interactions. The article describes the above-mentioned main components of the model and their meaning, which allows for the determination of air quality in Poland. In addition, selected research conducted at the AGH University of Science and Technology, which is part of the DPSIR model, is presented. The developed model will be one of the components of the advanced tool created by AGH, i.e. the Observatory of Energy Transformation (OTE), which will enable the preparation of recommendations for optimal actions regarding the implementation of energy policy and improvement of air quality in Poland.

Keywords: air quality, DPSIR model, pressures, modelling, measurements

Dr hab. inż. Ewa Adamiec, prof. AGH

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Geologii, Geofizyki
i Ochrony Środowiska
eadamiec@agh.edu.pl



Dr inż. Jakub Bartyzel

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej
bartyzel@agh.edu.pl



Dr inż. Elżbieta Jarosz-Krzemińska

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Geologii, Geofizyki
i Ochrony Środowiska
ekrzeminska@agh.edu.pl



Dr inż. Tomasz Pełech-Pilichowski

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Informatyki, Elektroniki
i Telekomunikacji
tomek@agh.edu.pl



Dr inż. Mateusz Rzeszutek

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Geodezji Górniczej
i Inżynierii Środowiska
rzeszut@agh.edu.pl



Dr inż. Janusz Zyśk

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Energetyki i Paliw
jazysk@agh.edu.pl

