

wydanie specjalne 2/5/2018

ISSN 17338662

ACADEMIA

M A G A Z Y N P O L S K I E J A K A D E M I I N A U K

Smog

O problemach z zanieczyszczeniem powietrza piszą
DUSZYŃSKI KAMIŃSKI STRUŻEWSKA
MILANOWSKI KICIŃSKI



Spis treści

dr hab. inż. Jacek Wojciech Kamiński dr inż. Joanna Strużewska	SZAROŚĆ NIEBA	4
prof. dr hab. n. med. Janusz Milanowski	CZUŁOŚĆ CZŁOWIEKA	10
prof. dr hab. inż. Jan Kiciński	PRZEJRZYSTOŚĆ PRZYSZŁOŚCI	14
w obiektywie	NOWA ENERGIA	18



Magazyn
Polskiej Akademii Nauk
wydanie specjalne 2/5/2018
ISSN 1733-8662
nakład: 2100 egz.

WYDAWCA:

© Polska Akademia Nauk
Biuro Upowszechniania
i Promocji Nauki
pl. Defilad 1,
00-901 Warszawa
e-mail: academia@pan.pl
academia.prenumerata@pan.pl
www.naukaonline.pl
www.academia.pan.pl

ZESPÓŁ REDAKCYJNY:

Jan Strelau
honorowy redaktor naczelny
Anna Zawadzka
redaktor naczelna,
nauki humanistyczne
Katarzyna Czarnecka
zastępca redaktor naczelnej,
sekretarz redakcji
Agnieszka Kloch
nauki biomedyczne
Agnieszka Pollo
nauki ścisłe i techniczne

Jolanta Iwańczuk
nauki o Ziemi
Andrzej Figatowski
grafika
Andrzej Kozak
edycja zdjęć
Renata Modzelewska
redakcja językowa
Jakub Ostałowski
zdjęcia
Zdjęcie na okładce: BE&W

RADA NAUKOWA:

Jerzy Duszyński
przewodniczący
Edward Nęcka
Grażyna Borkowska
Leszek Kaczmarek
Roman Micnas
Lucjan Pawłowski
Witold Rużyłło
Henryk Szymczak

Druk: Agencja
Wydawniczo-Poligraficzna
GIMPO



NEUPADDY/WWW.PIXABAY.COM



A. POWAŁOWSKA

Na początek

Uczone i uczeni z Polskiej Akademii Nauk wypracowują swoje opinie i stanowiska dotyczące spraw nurtujących społeczeństwo, a następnie przedstawiają je w specjalnych dwujęzycznych numerach pisma „Academia”. Poprzednie wydania specjalne poświęcone były migracjom, szczepieniom, Polskim Stacjom Polarnym oraz Puszczy Białowieskiej. Ten poświęcony jest smogowi.

W numerze przedstawione jest, jak smog widziany jest przez czterech wybitnych ekspertów:

- profesora medycyny, którego główne zainteresowania dotyczą alergicznych chorób układu oddechowego, wpływu pyłu organicznego na układ oddechowy oraz nowotworów płuc,
- geofizyka i panią inżynier, którzy zajmują się charakterystyką pyłów i ich występowaniem w atmosferze oraz tym, jak zadymiona jest Polska w stosunku do innych krajów Europy,
- wybitnego specjalistę zajmującego się ekoenergetyką, rozproszoną generacją energii i technologiami związanymi z ochroną środowiska.

Wypowiadających się naukowców różnią więc pola ekspertyz oraz doświadczenia zawodowe. Łączy zaś przekonanie, że smog jest groźny i ma duży wpływ na naszą gospodarkę oraz zdrowie. Jedno jest pewne, nadmierne zadymienie wielu obszarów Polski musi zostać ograniczone. Działania zmierzające ku temu wywołają zapewne wiele konfliktów i dylematów. Jednak najpierw trzeba zjawisko smogu zrozumieć i temu służy ten numer specjalny „Academii”.

**PROF. JERZY DUSZYŃSKI,
PREZES POLSKIEJ AKADEMII NAUK**



**Dr hab. inż. Jacek
Wojciech Kamiński**


jest profesorem IGF
PAN. Jego główne
zainteresowania
naukowe dotyczą
chemii i fizyki
atmosfery,
modelowania
pogody chemicznej,
i derywatów
pogodowych.
jkaminski@igf.edu.pl

**Dr inż. Joanna
Strużewska**

jest adiunktem
Politechniki
Warszawskiej.
Jej główne
zainteresowania
naukowe dotyczą
modelowania
jakości powietrza
oraz wpływu emisji
antropogenicznych
na zmiany klimatu.
[joanna.struzewska
@pw.edu.pl](mailto:joanna.struzewska@pw.edu.pl)

SZAROŚĆ NIEBA

TOMEK/ADOBESTOCK



Czym jest smog i z czego się składa? Jak powstaje?
Jak zadymiona jest Polska w stosunku do innych krajów Europy?

dr hab. inż.**Jacek Wojciech Kamiński**
 Instytut Geofizyki
 Polska Akademia Nauk, Warszawa
dr inż. Joanna Strużewska

Politechnika Warszawska

Zainteresowanie opinii publicznej problemem występowania wysokich stężeń pyłu stale rośnie. Pojawia się wiele inicjatyw społecznych oraz portali mających na celu informowanie społeczeństwa o potencjalnych zagrożeniach. Popularność zdobywa też monitoring personalny. Pomimo rosnącej świadomości społecznej i różnych działań podejmowanych na szczeblu administracji samorządowej i centralnej temat smogu, jego przyczyn i możliwości przeciwdziałania regularnie powraca, zwłaszcza w okresie grzewczym.

Terminem „smog” określa się zjawisko wystąpienia szczególnie wysokich stężeń zanieczyszczeń, pochodzących ze źródeł antropogenicznych, zazwyczaj w okresie bezwietrznej pogody. Zjawiskiem, które w Polsce budzi szerokie zainteresowanie i dyskusje, jest tzw. smog londyński, w skład którego wchodzi zanieczyszczenia pyłowe i gazowe, m.in. tlenki siarki, tlenek azotu i tlenek węgla, a który pojawia się zazwyczaj w chłodnej porze roku. Zanieczyszczenia pyłowe definiowane są jako stałe cząstki zawieszone w powietrzu. Cząstki te nie posiadają jednolitego składu ani rozmiaru, skutkiem czego występuje zróżnicowanie ich szkodliwości. Powszechnie stosuje się podział pyłów ze względu na wielkość cząstek, która wpływa na zasięg transportu od źródła i efektywność procesów usuwania z atmosfery. Ze względu na wielkość wyrażoną tzw. średnicą zastępczą wyodrębnia się zazwyczaj trzy rodzaje cząstek: PM₁₀ – cząstki o średnicy poniżej 10 μm, PM_{2.5} – o średnicy poniżej 2,5 μm i PM_{0.1} – o średnicy poniżej 0,1 μm. Zanieczyszczenia pyłowe są mieszaniną substancji organicznych i nieorganicznych. Pył zawieszony może także zawierać substancje toksyczne, np. wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne takie jak B[a]P, metale ciężkie oraz dioksyny i furany.

Kwestia zdrowia

Zanieczyszczenia powietrza wpływają negatywnie na zdrowie ludzkie, zaczynając od nieznacznych zmian w układzie oddechowym po wpływ na długość życia. Do najbardziej zagrożonych należą: dzieci, osoby starsze oraz chore (szczególnie na choroby

związane z układem oddechowym). W przypadku pyłów oddziaływanie na zdrowie ludzkie jest w dużej mierze uzależnione od rozmiaru cząstek. Frakcja gruba pyłu (cząstki PM₁₀ po wyłączeniu frakcji PM_{2.5}) są usuwane z powietrza przez procesy sedymentacji oraz opady atmosferyczne w ciągu kilku godzin od emisji, podczas gdy cząstki PM_{2.5} pozostają w atmosferze znacznie dłużej. Dłuższy czas przebywania cząstek PM_{2.5} sprzyja ich transportowi na dalekie odległości oraz dłuższemu oddziaływaniu na organizm człowieka. Rozmiar ziaren pyłu ma także wpływ na przenikanie cząstek do organizmu i tak frakcja gruba pyłu może się akumulować w górnych drogach oddechowych, natomiast pył PM_{2.5} przenika znacznie głębiej.

Wiele badań podjętych zarówno w Stanach Zjednoczonych, jak i w Europie wykazało, że kiedy stężenie pyłu zawieszonego w powietrzu wzrasta, nawet przy relatywnie niskim poziomie tła, obserwuje się wzrost liczby zgonów z powodu chorób układu oddechowego i krążenia oraz więcej osób wymaga leczenia szpitalnego zapalenia oskrzeli i astmy. W krajach UE według badań przeprowadzonych w ramach programu CAFE (Clean Air for Europe, <http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/l28o26.htm>) emisje PM_{2.5} wywołane działalnością antropogeniczną powodują skrócenie długości życia średnio o 8,6 miesiąca.

Poziomy stężenie pyłu, na jakie narażeni są mieszkańcy większości miast w krajach rozwiniętych i rozwijających się, mają negatywny wpływ na ich zdrowie. Długookresowa ekspozycja na pyły powoduje ryzyko powstania chorób układu oddechowego, płuc, serca, a także rak płuc.

Normy obowiązujące w Unii Europejskiej dla PM₁₀ to wartość dopuszczalna średniodobowa 50 μg/m³, która nie może być przekroczona więcej niż 35 razy w ciągu roku, oraz wartość średnioroczna na poziomie 40 μg/m³. Dla pyłu PM_{2.5} normowana jest wartość średnioroczna wynosząca 25 μg/m³. Dyrektywa Komisji Europejskiej nie precyzuje dla pyłów progów informowania społeczeństwa ani progów alarmowego. Zgodnie z krajowymi aktami prawnymi dla pyłu PM₁₀ wartości te wynoszą odpowiednio 200 μg/m³ i 300 μg/m³ jako średnia 24-godzinna i mogą być odmienne od stosowanych w innych państwach europejskich. W raporcie Europejskiej Agencji Środowiska o stanie jakości powietrza, opublikowanym w 2017, wskazano, że w roku 2015 10% populacji w miastach europejskich (EU-28) było narażone na stężenia PM₁₀ przekraczające poziom dopuszczalny dla wartości średniodobowej, 53% zaś powyżej wartości WHO. W odniesieniu do PM_{2.5} 7% populacji w miastach europejskich (EU-28) było narażone na stężenia przekraczające poziom dopuszczalny dla wartości średniorocznej, 82% zaś powyżej wartości WHO.

Kwestia źródeł

Zanieczyszczenia pyłowe pochodzą zarówno ze źródeł naturalnych, jak i antropogenicznych. Źródła antropogeniczne to: spalanie paliw, procesy przemysłowe, rolnictwo, a także takie zjawiska jak ścieranie się opon i nawierzchni dróg. Do źródeł naturalnych należy zaliczyć: aerozole morskie, pyły z nad pustyni, wybuchy wulkanów oraz aerozole pochodzące z procesów biogenicznych. Źródła emisji, a zarazem sposób powstawania pyłów dzieli się na pierwotne i wtórne, występujące na skutek reakcji utleniania prekursorów (dwutlenek siarki, tlenki azotu, amoniak, lotne związki organiczne) prowadzących do powstania cząstek aerozolu.

Na terenie Polski największy udział w emisji pyłów ma sektor komunalno-bytowy oraz energetyka zawodowa, oparta na spalaniu stałych paliw kopalnych, głównie węgla kamiennego. Udział poszczególnych frakcji w pyłach emitowanych z poszczególnych sektorów gospodarki jest zróżnicowany, zależy on m.in. od technologii i specyfiki źródła oraz zastosowanych technologii ochrony powietrza, na uwagę zasługuje fakt stosunkowo wysokiej zawartości frakcji PM_{2.5} w pyłach całkowitych emitowanych ze źródeł należących do kategorii transport drogowy.

Analiza pomiarów stężeń na stacjach monitoringu jakości powietrza wskazuje, że najniższe stężenia notowane są na północy i północnym zachodzie Europy (Półwysep Skandynawski, północna Irlandia) oraz regionach położonych na wysokości powyżej 800 m n.p.m. Liczne analizy wskazują, że transport drogowy i przemysł stanowią najbardziej znaczące źródła emisji antropogenicznej dla kontynentalnej części Europy. Prócz tego w regionie śródziemnomorskim istotnym źródłem naturalnym jest pył mineralny transportowany z nad Sahary. Analiza zmian poziomów stężeń na przestrzeni dziesięciolecia wskazuje na istnienie nieznacznego trendu malejącego, zwłaszcza w przypadku stacji monitorujących poziom stężeń w miejskich ciągach komunikacyjnych. Poziomy stężenie pyłu PM₁₀ na stacjach tła miejskiego utrzymują się na zbliżonym poziomie.

Kwestia epizodów

Analiza genezy epizodów pyłowych w Polsce w latach 2013–2016 przeprowadzona na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska wykazała, że wysokie stężenia pyłu PM₁₀, obejmujące znaczną część obszaru kraju, występowały przeważnie w dniach, w których temperatura powietrza ulegała obniżeniu do wartości ujemnych. Wiązało się to ze zwiększeniem emisji powierzchniowej, tzw. niskiej emisji, wynikającym ze wzrostu zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków. Prawie we wszystkich przypadkach epizody te występowały w wa-

WHO o smogu

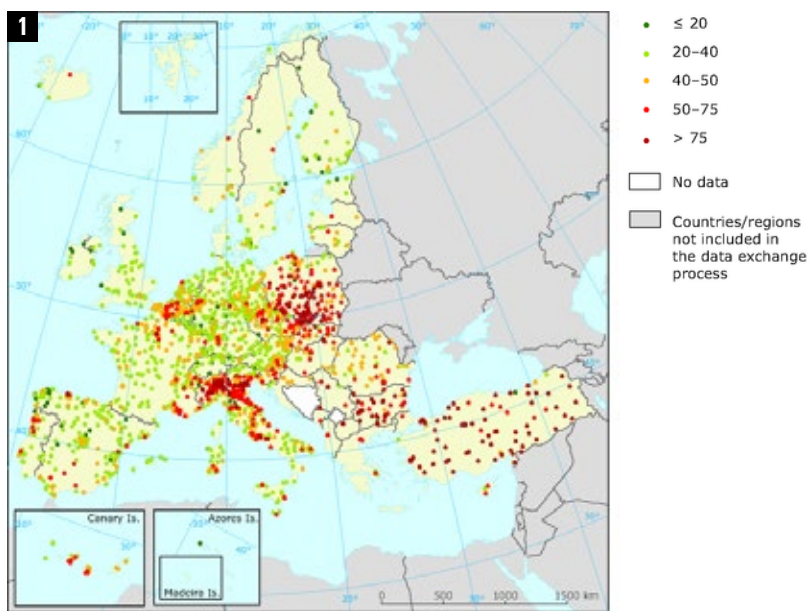
Według Światowej Organizacji Zdrowia (WHO ang. *World Health Organization*) bardzo trudno jest ustalić poziom, poniżej którego nie występuje żadne zagrożenie zdrowia. Poziomy obecnie zalecane przez WHO zostały wyznaczone na podstawie badań przeprowadzonych dla PM_{2.5}. Średnioroczne stężenie na poziomie 10 µg/m³ jest to najniższy poziom, dla którego stwierdzono z 95% prawdopodobieństwem wzrost śmiertelności wywołanej rakiem płuc i chorobami układu naczyniowo-sercowego. Natomiast średnia wartość dobową (25 µg/m³) wyznaczona została na podstawie wartości średniorocznej w taki sposób, aby zapobiegać powstawaniu krótkotrwałym podwyższonym stężeniom. Wartości dla PM₁₀ (odpowiednio 10 µg/m³ dla wartości średniorocznej i 50 µg/m³ dla wartości średniodobowej) zostały wyznaczone na podstawie wartości PM_{2.5} przy założeniu, że stosunek masowy frakcji PM_{2.5} w PM₁₀ wynosi 0,5.

WHO ostrzega:

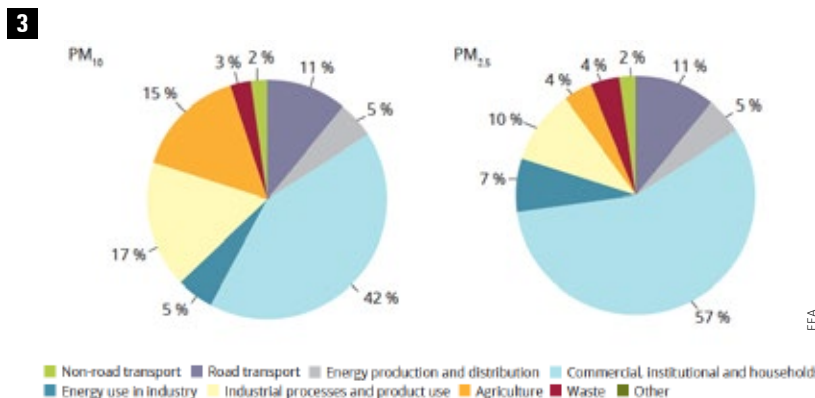
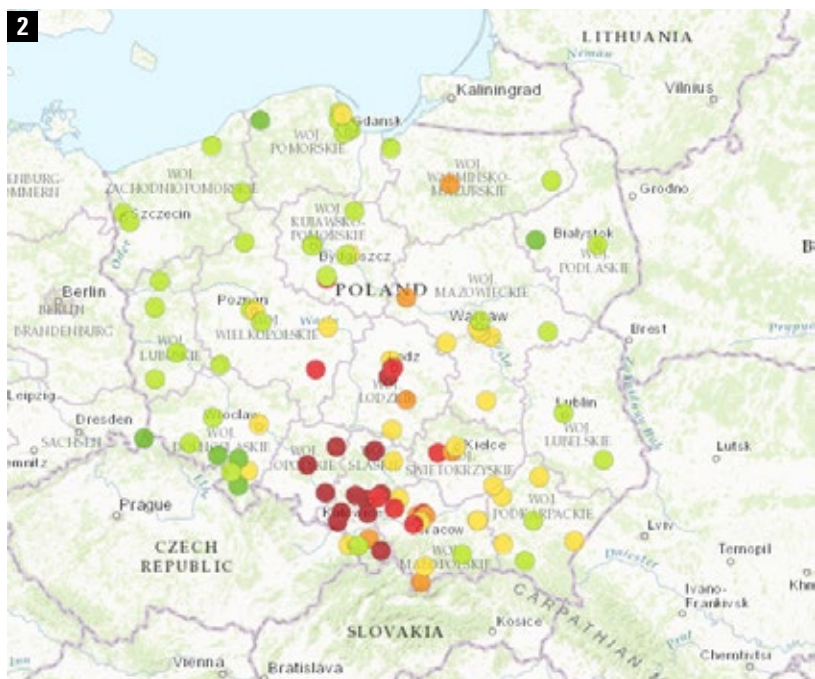
- Pył powoduje wzrost ryzyka śmierci z powodu niewydolności układu oddechowego u niemowląt do 1. roku życia, wpływa negatywnie na tempo rozwoju funkcjonowania płuc, zaostrza astmę i powoduje inne objawy ze strony układu oddechowego, takie jak kaszel i zapalenie oskrzeli u dzieci.
- Pył drobny PM_{2.5} poważnie zagraża zdrowiu, powodując wzrost zgonów w wyniku chorób serca, naczyń krwionośnych, dróg oddechowych oraz raka płuc. Wzrost stężenia pyłu PM_{2.5} powoduje wzrost ryzyka nagłych wypadków wymagających hospitalizacji z powodu problemów z krążeniem i oddychaniem.
- Pył PM₁₀ powoduje zwiększenie zachorowalności na choroby układu oddechowego, na co wskazuje liczba hospitalizacji z powodu chorób układu oddechowego.

runkach stałej lub silnie stałej równowagi atmosfery oraz inwersji temperatury, a także przy słabym wietrze. Warunki te utrudniały dyspersję zanieczyszczeń, prowadząc do ich kumulacji w warstwie przyziemnej atmosfery.

Na podstawie uzyskanych wyników modelowania matematycznego jako główną przyczynę wysokich stężeń pyłu PM₁₀ w Polsce wskazano emisję z licznych, niskich oraz rozproszonych źródeł emisji (tzw. niska emisja, ze źródeł komunalno-bytowych). Dla większości obszaru kraju udział tego typu emisji w kształtowaniu się epizodu wynosił przeważnie od 80 do ponad 90%. W wybranych rejonach, zwłaszcza w okolicach przebiegu głównych tras komunikacyjnych, a także na obszarach aglomeracji i większych miast, znaczny był udział również liniowych źródeł emisji, związanych z transportem samochodowym. Mieścił się on w przedziale od 10 do 30%, sięgając ok. 50% na terenie wybranych aglomeracji (np. warszawskiej). Wpływ źródeł punktowych by-



Rys. 1. Najwyższe stężenia PM10 w Europie w 2012 r. wyrażone jako 90,4 percentyl stężeń PM10 obliczony na podstawie ciągów średniodobowych stężeń PM10 ze stacji monitoringu (w $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



ły najmniejsze w rejonach, w których występowały wysokie stężenia pyłu PM10.

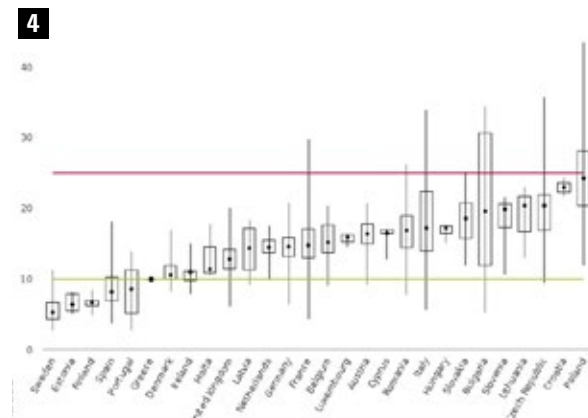
W części przypadków epizodów pyłowych zaznaczał się wpływ źródeł zagranicznych na tworzenie się wysokich stężeń PM10 (z reguły do 10% udziału). Dotyczyło to głównie przygranicznego pasa terenu na południu kraju i udział źródeł z Czech (głównie Śląska Morawskiego, w tym z przemysłowego rejonu Ostrawy) i Słowacji. Udział ten sięgał w wybranych przypadkach 50%. Napływ powietrza z przygranicznego obszaru Niemiec na ogół nie przyczyniał się do występowania przekroczeń progowych wartości stężeń PM10 na większym obszarze Polski. W rejonach, gdzie był największy procentowy udział źródeł emisji położonych za zachodnią granicą Polski, stężenia PM10 z reguły nie były wysokie. Analizy przeprowadzone z wykorzystaniem modelowania oraz symulacje trajektorii wstecznych wskazują na udział, w przypadku części epizodów, źródeł emisji zlokalizowanych na obszarze południowej Polski (głównie Śląska) na kształtowanie się wysokich stężeń w przygranicznych rejonach Słowacji i Czech.

Szczególnie niekorzystne warunki smogowe wystąpiły w okresie zimowym 2017, kiedy w miastach na południu Polski poziomy stężenie PM10, w odniesieniu do maksymalnej wartości godzinnej w ciągu doby, osiągały rekordowe wartości powyżej 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Kwestia monitoringu

Rutynowe pomiary pyłu zawieszonego PM10 oraz PM2.5 prowadzone są w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Na jakość informacji o stężeniu pyłu zawieszonego decydujący wpływ ma metodyka prowadzenia pomiarów i związana z nią niepewność pomiarowa, kompletność serii pomiarowych oraz lokalizacja (reprezentatywności) stanowisk pomiarowych. Metodykę pomiarów pyłu zawieszonego wskazuje dyrektywa Parlamentu Europejskiego oraz regulacje krajowe.

Cieszące się dużym zainteresowaniem komercyjne niskokosztowe czujniki do pomiarów zanie-



DR HAB. INŻ. JACEK WOJCIECH KAMIŃSKI, DR INŻ. JOANNA STRUŻEWSKA

czyszczeń powietrza, a w szczególności do pomiarów stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀ i PM_{2.5} nie są urządzeniami pracującymi zgodnie z metodyką referencyjną. Z powodu braku wykazanej równoważności czujników względem metodyki referencyjnej nie mogą być one traktowane jako źródło wiarygodnych danych, a na ich podstawie nie można określać, czy nastąpiło przekroczenie norm jakości powietrza.

Ze względu na negatywny wpływ pyłu PM_{2.5} na zdrowie ludzi w dyrektywie Parlamentu Europejskiego wprowadzono dodatkowe normy jakości powietrza dla obszarów tła miejskiego w miastach powyżej 100 tys. mieszkańców i aglomeracjach. Dla obszarów tych określono wartość dopuszczalną pyłu PM_{2.5} w powietrzu, którą nazwano pułapem stężenia ekspozycji obliczanym na podstawie wskaźnika średniego narażenia dla miasta o liczbie mieszkańców większej niż 100 tys. i aglomeracji. Ponadto każdy kraj członkowski w oparciu o krajowy wskaźnik średniego narażenia obliczany na podstawie wskaźnika średniego narażenia dla miasta o liczbie mieszkańców większej niż 100 tys. oraz dla aglomeracji w oparciu o kryteria określone w ww. dyrektywie określił krajowy cel redukcji narażenia na pył PM_{2.5}. W Polsce wskaźnik średniego narażenia dla miasta o liczbie mieszkańców większej niż 100 tys. i aglomeracji oblicza się dla 30 miast i aglomeracji

na podstawie danych z 32 stanowisk pomiarowych. W porównaniu z pozostałymi krajami europejskimi poziom zanieczyszczenia pyłem w Polsce nadal utrzymuje się na wysokim poziomie.

Kwestia zanieczyszczenia

Zarówno w Polsce, jak i w Europie obserwowany jest nieznaczny trend spadkowy tła stężeń zanieczyszczeń pyłowych. Narażenie na ponadnormatywne stężenia znacząco wzrasta w miesiącach zimowych i jest związane z występowaniem niekorzystnych warunków meteorologicznych – głównie inwersji temperatury w warunkach słabego wiatru. W przypadku spadków temperatury pojawia się zwiększone zapotrzebowanie na energię i wzrasta intensywność spalania przydomowego. W Polsce spalanie paliw stałych, często z wykorzystaniem pieców o niskiej sprawności, ze źle prowadzonym procesem i znaczną emisją pyłu stanowi czynnik znacznie przyczyniający się do występowania sytuacji smogowych. Taka struktura emisji jest przyczyną, iż w odniesieniu do najwyższych stężeń Polska wyróżnia się negatywnie na tle innych krajów Europy.

JACEK WOJCIECH KAMIŃSKI
JOANNA STRUŻEWSKA

Rys. 2.
Indeks jakości powietrza w Polsce o 8.00 UTC 9.01.2017. Kolor pomarańczowy oznacza przekroczenie dobowej wartości dopuszczalnej, czerwony i bordowy – odpowiednio proggu informowania i alarmowego.

Rys. 3.
Udział w emisji PM₁₀ i PM_{2.5} w 2015 r. (średnia dla EU-28).

Rys. 4.
Średnioroczne stężenie pyłu 2.5 w krajach UE (najniższą, najwyższą i średnią wartość $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Prostokąt to 25. i 75. percentyl. Wartość zalecana przez UE jest zaznaczona linią czerwoną, wartość WHO – zieloną.



Naukaonline.pl

portal magazynu Polskiej Akademii Nauk **ACADEMIA**

Trzymamy
stronę
nauki

CZUŁOŚĆ CZŁOWIEKA

Jak się oddycha zanieczyszczonym powietrzem?
Jakie skutki zdrowotne to przynosi?

**prof. dr hab. n. med.
Janusz Milanowski**

Uniwersytet Medyczny w Lublinie



**Prof. dr hab.
n. med.
Janusz Milanowski**

jest kierownikiem Katedry i Kliniki Pneumonologii, Onkologii i Alergologii Uniwersytetu Medycznego w Lublinie. Jego główne zainteresowania naukowe dotyczą alergicznych chorób układu oddechowego, wpływu pyłu organicznego na układ oddechowy, nowotworów płuc – badania genetyczne i molekularne.
janusz.milanowski@umlub.pl

Zdrowie człowieka i jakość życia są nierozzerwalnie związane ze stanem otaczającego go środowiska. Wśród środowiskowych zagrożeń zdrowotnych zanieczyszczenia powietrza odgrywają znaczącą rolę. Pomimo pewnej poprawy w ostatnich latach zanieczyszczenia powietrza wciąż oddziałują negatywnie na zdrowie człowieka. Narażenie człowieka na szkodliwe czynniki środowiskowe może być krótko- i długookresowe (ostre i przewlekłe). Krótkookresowe narażenia wywołują zwykle reakcje ostre, szczególnie u osób szczególnie wrażliwych. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) szacuje, że rocznie około 3 mln osób umiera na świecie przedwcześnie z powodu zanieczyszczenia powietrza.

Kwestia narażenia

U osób zdrowych nawet krótkotrwały kontakt ze smogiem wywołuje stany zapalne dróg oddechowych, podrażnienie spojówek, krtani i tchawicy, zapalenie płuc, zmęczenie, spadek tolerancji wysiłku. Natomiast u osób chorych na astmę i POChP (przewlekła obturacyjna choroba płuc) dochodzi do



PROF. DR HAB. N. MED. JANUSZ MILANOWSKI

zaostżenia tych schorzeń, nierzadko ze skutkiem śmiertelnym.

Przewlekły, wieloletni kontakt z zanieczyszczeniami z powietrza może prowadzić do rozwoju nowotworów złośliwych, takich jak rak płuca, rak zatok, nowotwory jamy ustnej, gardła i krtani oraz przelyku, rak nerki. Według WHO zanieczyszczenie powietrza w ok. 30% odpowiada za powstawanie nowotworów. Innym skutkiem długotrwałej ekspozycji na smog jest rozwój POChP.

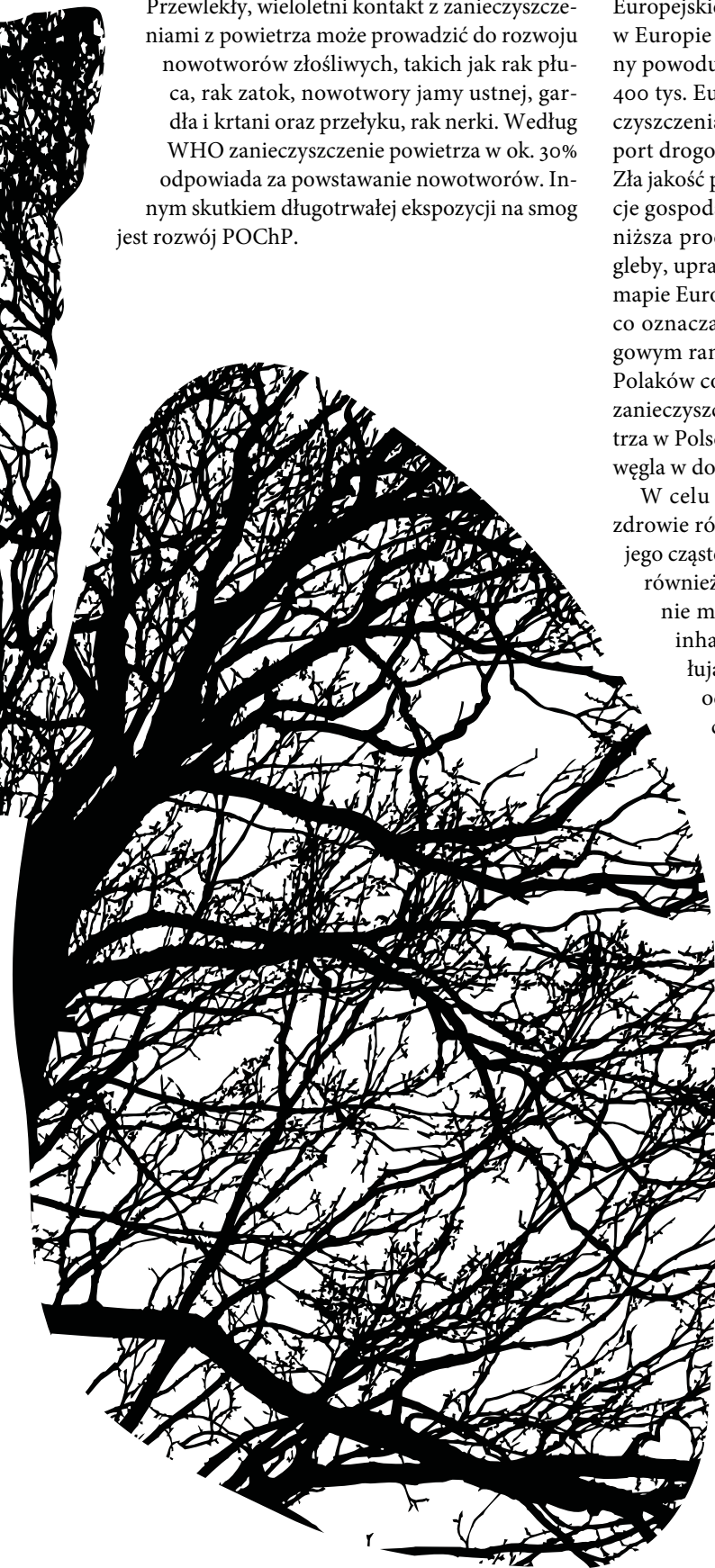
Mieszkańcy europejskich miast narażeni są na wdychanie zanieczyszczonego powietrza. Z raportu Europejskiej Agencji Środowiska „Jakość powietrza w Europie 2017” wynika, że drobny pył zawieszony powoduje co roku przedwczesną śmierć ponad 400 tys. Europejczyków. Największe źródła zanieczyszczenia powietrza w Europie stanowią: transport drogowy, rolnictwo i gospodarstwa domowe. Zła jakość powietrza ma także poważne konsekwencje gospodarcze, takie jak rosnące koszty leczenia, niższa produktywność pracowników, degradacja gleby, upraw, lasów i całej przyrody. Na smogowej mapie Europy Polska zaznaczona jest na czerwono, co oznacza, że przodujemy w niechlubnym smogowym rankingu Unii Europejskiej. Około 50 tys. Polaków co roku umiera przedwcześnie z powodu zanieczyszczenia powietrza. Za fatalny stan powietrza w Polsce odpowiada głównie emisja ze spalania węgla w domowych piecach.

W celu oceny wpływu pyłu zawieszonego na zdrowie różnicuje się pył pod względem wielkości jego cząstek: PM₁₀, PM_{2.5} i ostatnio coraz częściej również PM₁. Najważniejsze patogenne znaczenie mają najdrobniejsze: PM_{2.5}, PM₁. Po za-inhalowaniu do dróg oddechowych wywołują działanie drażniące i powodują objawy oddechowe, głównie kaszel. Najmniejsze cząstki potrafią też przenikać do pęcherzyków płucnych, a stamtąd dostają się do układu krążenia. Badania wykazują, że w Europie ponad 3% zgonów z powodu chorób układu krążenia i 5% zgonów z powodu raka płuc jest wywołanych przez pył zawieszony. Niektórzy uważają, że pył PM_{2.5} znajduje się na liście dziesięciu najważniejszych czynników ryzyka dla zdrowia człowieka na świecie.

Kwestia paliwa

Zanieczyszczenie powietrza powstaje zarówno w wyniku działania człowieka, jak i w środowisku naturalnym. Substancje oznaczane rutynowo to ozon (poziom przy gruncie), pyły zawieszony, tlenek węgla, tlenki azotu, tlenek siarki i inne związki siarki takie jak siarkowodór. Inne substancje obecne w powietrzu wpływające na stan zdrowia to metale (np. ołów i miedź) i węglowodory (benzen, formaldehyd i trichloroetylen).

Przygruntowy (inaczej troposferyczny) ozon jest odróżniany od ozonu



stratosferycznego, który formuje ochronną warstwę dookoła Ziemi. Ozon troposferyczny to bezbarwny gaz powstający w wyniku reakcji tlenków azotu i lotnych związków organicznych lub węglowodorów w atmosferze przy udziale ciepła i promieni słonecznych. Zastępe masy powietrza pozwalają ozonowi i jego prekursorom na akumulację, co podnosi stężenie ozonu. Tlenki azotu powstają w wyniku spalania paliw kopalnych przez pojazdy mechaniczne, elektrownie i inne źródła związane z przemysłem. Lotne związki organiczne są produkowane także przez spalanie paliw kopalnych, rafinowanie benzyny, używanie rozpuszczalników. Inne źródło tych substancji to lasy i wegetacja roślin.

Cząstki zawieszone są bardzo małe, mogą znajdować się zarówno w stanie stałym, jak i ciekłym, różnią się między sobą rozmiarem, składem chemicznym i miejscem powstania. Pozostają zawieszony w powietrzu przez długi czas. Drobne cząstki (poniżej 10 mikrometrów) – PM₁₀ – są uważane za inhalowane, a mniejsze cząstki (mniej niż 2,5 mikrometra) – PM_{2.5} – za frakcję respirabilną (penetrującą do pęcherzyków płucnych). W przypadku wdychania drobnych cząstek dochodzi do ich gromadzenia w dolnych drogach oddechowych, co prowadzi do uszkodzenia tych dróg i zmniejszenia powierzchni wymiany gazowej w płucach. Te drobne cząstki powstają najczęściej w wyniku działalności człowieka, zwłaszcza ze spalania paliw kopalnych – w największym stopniu oleju napędowego (diesel). Smog to nazwa dla chemicznej zawiesiny produkowanej z fotochemicznych reakcji w atmosferze. Z powodu roli, jaką w jego produkcji odgrywa ciepło i światło słoneczne, najwyższy poziom smogu stwierdza się w ciepłe, słoneczne dni. Smog letni jest złożony głównie z przygruntowego ozonu i cząstek zawieszonych, zimowy to w głównej mierze cząstki zawieszony i dwutlenek siarki. Smog i to, z czego powstaje, mogą być przenoszone na długie dystanse w atmosferze przez wiatr. Mimo powszechnego poglądu, że smog to problem jedynie regionów zurbanizowanych, a zwłaszcza śródmieście, poziomy ozonu mogą być wyższe na terenach wiejskich i przedmieściach.

Kwestia zapalenia

W 2010 r. American Heart Association (AHA) dokonało przeglądu doniesień na ten temat, proponując trzy mechanizmy oddziaływania zanieczyszczeń pyłowych na układ krążenia. Za pierwszy i najważniejszy mechanizm uznano systemową reakcję zapalną, której źródłem jest stan zapalny w drogach oddechowych. Za kolejny możliwy mechanizm – zmiany równowagi autonomicznego układu współczulnego jako reakcję na zaaspirowanie zanieczyszczonego powietrza. Jako trzeci mechanizm naukowcy z Amerykańskiego Towarzystwa Kardiolo-

gicznego zaproponowali bezpośrednie przenikanie pyłu zawieszonego do krwiobiegu, a następnie jego oddziaływanie ze śródbłonkiem naczyń krwionośnych, inicjujące w ten sposób powstawanie blaszki miażdżycowej. Na tej podstawie wyjaśniono wpływ pyłu zawieszonego na występowanie wzmożonej ilości hospitalizacji z powodu zaburzeń rytmu serca, incydentów niedokrwienych (udar mózgu, zawał serca) oraz nadciśnienia. Jednocześnie powiązano PM z wyższą umieralnością na choroby układu sercowo-naczyniowego. Mechanizm oddziaływania pyłu zawieszonego i tlenków azotu prowadzi do rozwoju przewlekłego stanu zapalnego w obrębie dróg oddechowych, który staje się źródłem ognisk prozapalnych dla całego organizmu. W perspektywie wielu lat może to doprowadzić do skrócenia długości życia z powodu akceleracji rozwoju groźnych chorób głównie w obrębie układu oddechowego i krążenia. Aktualna redukcja oczekiwanej długości życia dla mieszkańców Europy z powodu zanieczyszczeń powietrza wynosi średnio 9 miesięcy.

Wdychany ozon wywołuje reakcję zapalną, manifestującą się wzrostem przepuszczalności dróg oddechowych oraz nadreaktywności oskrzeli i jest związany z pogorszeniem funkcji układu oddechowego, nasileniem kaszlu i duszności. Istnieje zmienność osobnicza we wrażliwości na ozon, której nie da się przewidzieć. Istnieją dowody na to, że ozon w warstwie przyziemnej może nasilać reakcje alergiczne u osób chorujących na astmę. Mechanizmy patofizjologiczne, poprzez które drobne cząsteczki oddziałują na płuca i serce, nie są do końca poznane, ponieważ, w przeciwieństwie do ozonu, materia drobnocząsteczkowa jest chemicznie heterogenna. W kontrolowanych badaniach klinicznych działania dwutlenku azotu i dwutlenku siarki powodują obniżenie funkcji płuc u ludzi z astmą, a tlenek węgla zmniejsza tolerancję na wysiłek, szczególnie u osób z chorobą wieńcową.

Najwyższa dawka zanieczyszczeń jest inhalowana podczas różnych aktywności podejmowanych poza domem, związanych z pracą czy rekreacją. Podczas porannych i popołudniowych godzin szczytu najwyższy poziom zanieczyszczeń pochodzących ze spalin samochodowych zbiega się w czasie ze zwiększoną liczbą ludzi pokonujących drogę do pracy lub szkoły, co skutkuje dużą ekspozycją na zanieczyszczenia.

Kwestia starzenia

Smog jest najbardziej groźny dla dzieci, kobiet w ciąży, osób starszych oraz osób ze schorzeniami układu oddechowego i alergików. Pyły, głównie PM_{2.5}, mają możliwość przechodzenia przez ściany pęcherzyków płucnych i trafiają do całego układu krwionośnego, przyczyniając się w istotny sposób

PROF. DR HAB. N. MED. JANUSZ MILANOWSKI

Najczęstsze substancje wchodzące w skład zanieczyszczenia powietrza i ich główne źródła związane z aktywnością człowieka

Substancja	Główne źródło
Tlenek węgla	pojazdy mechaniczne, spalanie np. drewna
Ozon przygruntowy	reakcja tlenków azotu i lotnych substancji organicznych w obecności światła słonecznego
Tlenki azotu	pojazdy mechaniczne, spalanie np. podczas generowania prądu w elektrowni
Dwutlenek siarki	spalanie węgla i paliw
Zawieszone cząstki stałe	pojazdy mechaniczne, przemysł, pył drogowy
Zredukowane związki siarki	produkcja papieru, rafinerie, piece koksowe

do rozwoju choroby niedokrwiennej serca, nadciśnienia tętniczego, zaburzeń rytmu serca. Nasilają też niewydolność serca oraz mogą prowadzić do nagłej śmierci sercowej. Najbardziej zagrożeni są pacjenci chorzy na chorobę wieńcową, osoby starsze, otyłe, chorujące na cukrzycę i przewlekłe choroby układu oddechowego oraz palące tytoń.

Smog przyczynia się też do szybszego starzenia się układu nerwowego, a także zwiększa ryzyko choroby Alzheimera i demencji. Substancje zawarte w smogu są związkami, które mogą powodować również problemy z płodnością, alergię, zaburzenia pracy wątroby. Zanieczyszczenia powietrza szczególnie niekorzystnie oddziałują na zdrowie dzieci, i to już w okresie płodowym. Mogą powodować wady wrodzone oraz pogorszenie się parametrów takich jak waga, długość ciała, obwód urodzeniowy główki. Dzieci są najbardziej narażone na negatywne skutki oddychania zanieczyszczonym powietrzem. Dzieje się tak z kilku powodów. Po pierwsze, układ oddechowy dzieci jest jeszcze niedojrzały, a drogi oddechowe wąskie i krótkie, co zwiększa ich podatność na szkodliwe działania pyłów. Ponadto dzieci oddychają szybciej niż dorośli, dlatego wdychają substancji proporcjonalnie więcej. Nie bez znaczenia jest też fakt, że duży odsetek małych dzieci oddycha ustami, a nie przez nos, który jest w stanie zatrzymać więcej zanieczyszczeń.

Kwestia ochrony

Przed smogiem możemy chronić się na kilka sposobów. Możemy na przykład zamknąć okna i nie wychodzić z domu, ale nie zawsze można sobie na to pozwolić. Jedynym skutecznym sposobem chroniącym przed cząstkami PM_{2.5} i PM₁₀ są specjalne maski, które zawierają filtry wyłapujące zanieczyszczenia. Ich koszt zaczyna się od około 100 zł. Natomiast powietrze domowe możemy skutecznie oczyszczać za pomocą specjalnych i kosztownych oczyszczaczy powietrza zawierających filtry HEPA.

Najważniejszym zaleceniem jest minimalizowanie wpływu zanieczyszczeń na nasz organizm, a więc nie powinniśmy dokładać z własnej woli szkodliwych czynników np. w postaci dymu tytoniowego, tym bardziej że wpływ palenia tytoniu na organizm człowieka jest o wiele silniejszy od działania smogu. Pozostałe zasady „higienicznego trybu życia” pozostają nadal aktualne. Natomiast nie ma dostępnych „cudownych leków” i suplementów, które zapobiegałyby lub niwelowały szkodliwe działania zanieczyszczonego środowiska.

W dłuższej perspektywie profilaktyka obejmuje wiele działań jednostki mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza, takich jak: unikanie stosowania węgla i innych paliw kopalnych, ograniczenie korzystania z samochodów na rzecz transportu publicznego lub wspólne korzystanie z samochodu, przemieszczanie się pieszo lub na rowerze (zwłaszcza gdy poziom smogu nie jest wysoki), utrzymanie samochodu w dobrym stanie technicznym, sprawdzanie systemów kontroli emisji spalin, wyłączanie silnika podczas postoju, używanie pojazdu o niskim zużyciu paliwa, jazda z umiarkowaną prędkością i unikanie używania pojazdów oraz maszyn o napędzie spalinowym (takich jak motocykl, motorówka czy kosiarka spalinowa), rozważenie energooszczędnych rozwiązań w domu, wybieranie alternatyw dla domowych środków czyszczących i farb olejnych (które emitują lotne związki organiczne) oraz właściwe usuwanie odpadów toksycznych z gospodarstw domowych.

Mimo że ważna jest edukacja w celu motywowania do indywidualnej zmiany zachowania, profilaktyka obejmuje również działania na poziomie całego społeczeństwa. Należą do nich standardy emisji paliw i pojazdów silnikowych, dbałość o planowanie urbanistyczne i transport publiczny, a także międzynarodowa współpraca na rzecz redukcji transgranicznego zanieczyszczenia powietrza.

JANUSZ MILANOWSKI

Chcesz wiedzieć więcej?

Cohen A.J., Brauer M., Burnett R., et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *Lancet*. 2015; 389:1907–1918.

Hoffmann B., Moebus S., Mohlenkamp S., et al. Residential exposure to traffic is associated with coronary atherosclerosis. *Circulation*. 2017; 116:489–496.

WHO: Indoor air pollution, World Wide Web: <http://www.who.int/indoorair/en/>

Environmental Protection Agency: Indoor Air Pollution World Wide Web: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/indoorairpollution.html>.

Miller K.A., Siscovick D.S., Sheppard L., Shepherd K., Sullivan J.H., Anderson G.L., Kaufman J.D. Long-term exposure to air pollution and incidence of cardiovascular events in women. *New Engl J Med* 2007, 356:447–458.

Pope C.A., Ezzati M., Dockery D.W. Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States. *New Engl J Med* 2009, 360:376–386.

Krewski D. Evaluating the effects of ambient air pollution on life expectancy. *New Engl J Med* 2009, 360: 413–415.

PRZEJRZYSTOŚĆ PRZYSZŁOŚCI

Czy można wygrać walkę ze smogiem? I jak mogą w tym pomóc nowe technologie?



prof. dr hab. inż. Jan Kiciński

Instytut Maszyn Przepływowych
Polska Akademia Nauk, Gdańsk

Prof. dr hab. inż. Jan Kiciński jest dyrektorem Instytutu Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, wiceprzewodniczącym Governing Council of eseia (European sustainable energy innovation alliance). Zajmuje się ekoenergetyką, generacją rozproszoną i technologiami związanymi z ochroną środowiska. Laureat Nagrody Premiera (zespołowa) I Stopnia za opracowanie technologii dla gminnych autonomicznych regionów energetycznych ARE.
kic@imp.gda.pl

U podstaw zmiany sposobu myślenia o naszym środowisku, czystym powietrzu i energetyce leży kilka aspektów i ważnych okoliczności, które musimy wziąć pod uwagę.

Aktualnie jesteśmy świadkami burzliwego rozwoju technologii IT, internetu i aplikacji mobilnych. Szczególną karierę robi Internet Rzeczy (Internet of Things - IoT) odnoszący się także do obiektów połączonych w sieć typu smart i samoorganizujących się.

Revolucja informatyczna i Internet Rzeczy stworzyły warunki do rozwoju nowej i szybko rozwijającej się koncepcji tzw. czwartej rewolucji przemysłowej, czyli Industry 4.0. Jednym z zadań koncepcji Industry 4.0 jest wdrażanie technologii IT do energetyki rozproszonej i prosumenckiej, a także inteligentnego zarządzania energią.

Kolejnym ważnym aspektem jest elektromobilność, czyli szeroko rozumiane e-mobility. Elektromobilność to nie tylko samochód elektryczny, ale również, a może przede wszystkim:

- planowanie, modelowanie i zarządzanie lokalnymi systemami energetycznymi z uwzględnieniem samochodów elektrycznych jako specyficznych odbiorników/generatorów i magazynów energii,
- system rozwiązań technicznych, organizacyjnych i prawnych umożliwiających rozwój ekologicznego transportu.

Dochodzimy tu do ważnej konkluzji, że pojazd elektryczny jest tylko częścią systemu zarządzania energią w generacji rozproszonej oraz że układy hybrydowe, efekty synergii, magazyny energii oraz oczywiście sam pojazd elektryczny stanowią w istocie Smart Energy System.

Smart Energy System odnosić się może zarówno do skali pojedynczego budynku, gdzie przedmiotem analizy i rozwiązań technologicznych są hybrydowe/modułowe układy źródeł energii dla budynków, jak i do skali osiedla, gdzie przedmiotem rozważań i wdrożeń są klastry energii, w tym zwłaszcza monitorowanie lokalnej sieci elektroenergetycznej i ciepłowniczej oraz tworzenie różnego rodzaju scenariuszy pracy dla konkretnych rozwiązań rzeczywistych bądź wirtualnych.

No i wreszcie koniecznie trzeba wspomnieć tu o koncepcji Smart City, czyli inteligentnego miasta. W ostatnich latach to nie tylko hit publikacyjny i konferencyjny, ale także przykład spektakularnych działań wielu miast, firm i organizacji na całym świecie.

Czy te wszystkie aspekty, a więc Internet Rzeczy, Industry 4.0, e-mobility, Human Smart Cities oraz Smart Energy System mają wpływ na rozwój energetyki przyszłości i zmianę tradycyjnych pojęć o ochronie środowiska i energetyce w ogóle? Oczywiście, że tak. Burzliwy rozwój technologii IT (Internet Rzeczy, Industry 4.0, Human Smart Cities), a także prognozowany rozwój elektromobilności wymusi rozwój Smart Energy Systems, czyli ruchu energetyki wielkoskalowej w kierunku generacji rozproszonej. A to wymusza także inne, bardziej kompleksowe spojrzenie na kwestie czystego powietrza, w tym i smogu [1-3].

Kwestia przegranej

Skala problemu jest następująca. W Polsce jest około 13,4 mln gospodarstw domowych. Większość z nich (55,5%) mieści się w domach wielorodzinnych, 44,5% zaś w domach jednorodzinnych. Mamy też obecnie ok. 5-6 mln gospodarstw domowych spalających węgiel i biomasę dla celów ciepłowniczych i podgrzewania wody użytkowej. Eksploatują one w przeważającej większości kotły starszej generacji

PROF. DR HAB. INŻ. JAN KICIŃSKI



JAKUB OSTAŁOWSKI

 Laboratorium IMP PAN
 – prototyp elektrofiltru
 i jego twórcy:
 M. Lackowski (z prawej)
 i T. Przybyliński
 (na zdjęciu),
 M. Dors i J. Podliński.

o niskiej sprawności i dużym poziomie emisji. Do urządzeń najstarszych należą piece na paliwa stałe, których średnia wieku przekracza 24 lata, natomiast kotły mają średnio 10 lat. Z kolei udział kotłów na paliwo stałe jako źródeł emisji w zanieczyszczeniu atmosfery w Polsce szacuje się na ponad 90%.

Smog ma źródło w ubóstwie energetycznym, spalamy wszystko, co ma wartość energetyczną. Dodatkowo dominują paliwa stałe – tanie zarówno w zakupie, jak i niewymagające istnienia rozbudowanej infrastruktury przesyłowej czy też magazynowej. Istnieją rozwiązania mogące wpłynąć na poprawę obecnego stanu. Jest to rozbudowa systemów ciepłowniczych, rozwój sieci gazowej i wymiana kotłów na opalane gazem, wymiana kotłów na nowe, spełniające standardy emisji odpowiednie dla kotłów klasy 5.

Rozbudowa systemów ciepłowniczych ma oczywiste i bardzo istotne ograniczenia związane z wysokim kosztem inwestycji (dla odbiorców indywidualnych – często niemożliwym do poniesienia) oraz ograniczenia techniczne związane ze znaczną ingerencją w istniejącą infrastrukturę grzewczą budynków (konieczność budowy węzłów – stosunkowo wysoki koszt, systemu przesyłowego, na który składają się przede wszystkim układy pompowe – bardzo wysoki koszt inwestycji i niemały eksploatacji). Musi oczywiście istnieć źródło w postaci ciepłowni, elektrociepłowni o odpowiedniej mocy i w akcepto-

walnej odległości. Ważnym czynnikiem w aspekcie ubóstwa energetycznego jest również cena ciepła porównywalna z ceną charakterystyczną dla źródła indywidualnego gazowego, a wyższą od ceny typowej dla źródła opalanego paliwem stałym.

Rozwój sieci gazowej i wymiana kotłów na gazowe jest kolejną z możliwości ograniczenia poziomu niskiej emisji. W Polsce dostęp do infrastruktury gazowej ma 52,5% populacji. Konieczność rozbudowy i zwiększenia dostępności gazu ziemnego generuje ogromne koszty inwestycyjne związane nie tylko z rozbudową sieci niskiego ciśnienia, które doprowadzają to paliwo do odbiorców indywidualnych, ale również wymagają rozbudowy infrastruktury szkieletowej oraz magazynowej. Inwestycje na tę skalę mają charakter inwestycji niemalże pokoleniowych. Co więcej, zainstalowanie kotła gazowego nie eliminuje podstawowego i najważniejszego problemu, jakim jest status materialny odbiorcy, którego nie stać na tak drogie paliwo. Instalacja kotłów klasy 5. o stosunkowo niewielkich poziomach emisji również związana jest z inwestycją wymiany kotła. Należy zaznaczyć, że koszt kotła o mocy grzewczej około 25 kW przekracza 10 000 zł. Jednak elementem ważnym z punktu widzenia użytkownika są restrykcyjne ograniczenia (narzucane przez producentów) odnośnie jakości spalanego paliwa. Tutaj również pojawia się problem kosztów, jakże ważny dla naszego społeczeństwa.

Kwestia spojrzenia

Instytut Maszyn Przepływowych PAN im. Roberta Szwalskiego w Gdańsku zaproponował rozwiązanie wykorzystujące własne technologie prowadzące do znacznego spadku emisji zanieczyszczeń połączonego w perspektywie z generacją rozproszoną energii elektrycznej w skojarzeniu z ciepłem. Zaproponowane zostały cztery etapy wdrożenia tego rozwiązania:

- wyposażenie starszych kotłów w instalacjach domowych w elektrofiltr małej mocy (patent IMP PAN P. 422507). Jest to szybkie i stosunkowo tanie rozwiązanie;
- opracowanie zaawansowanych technologicznie kotłów na paliwo stałe o ultraniskiej emisji pyłów wyposażonych, dodatkowo w elektrofiltr;
- wprowadzenie na rynek mikrośilowni domowych produkujących ciepło i prąd elektryczny, które zastąpią dotychczasowe kotły centralnego ogrzewania;
- wprowadzenie na rynek typoszeregu mini-elektrowni kogeneracyjnych na potrzeby małych firm, budynków użyteczności publicznej, wielorodzinnych budynków komunalnych.

Zastosowanie elektrofiltrów małej mocy na starsze kotły (EfMM) w instalacjach domowych ma wiele zalet: na obecnym etapie możliwa jest szybka ścieżka wdrożenia w związku z wysokim stopniem gotowości technologicznej (po próbach laboratoryjnych, po testach eksploatacyjnych instalacji pilotażowej, na etapie testów w większej skali u odbiorców indywidualnych). EfMM wykazują dużą skuteczność w masowym usuwaniu pyłów (ponad 90%), a przy seryjnej produkcji ich cena jest stosunkowo niska (do 2500 zł). Istotnym elementem tego rozwiązania jest możliwość montażu z różnymi kotłami w już istniejących kotłowniach domowych.

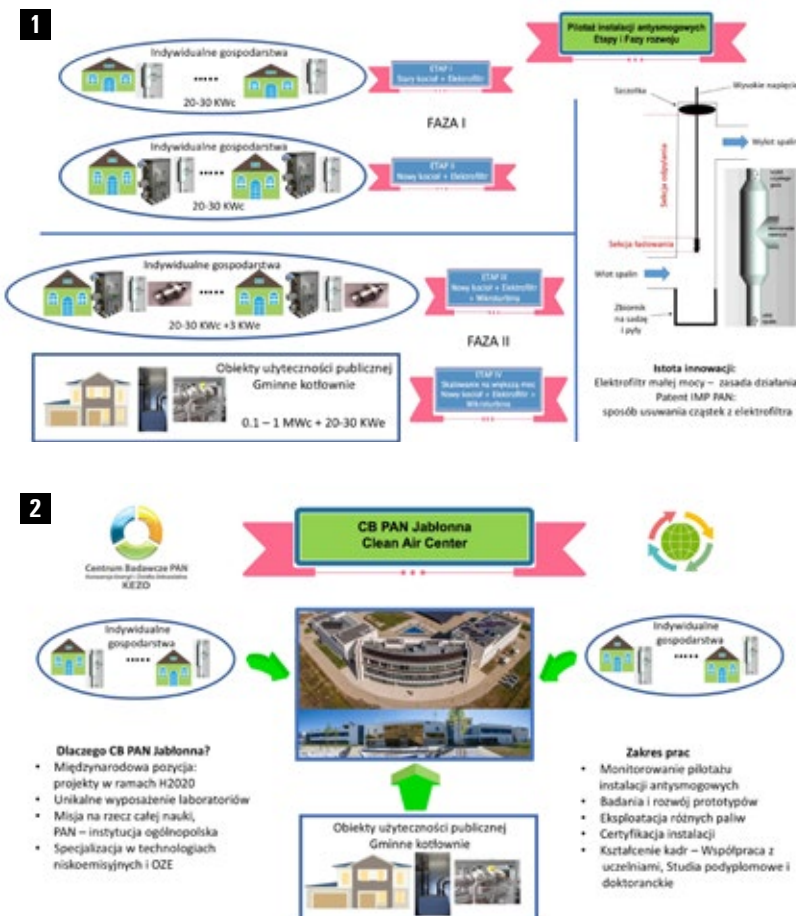
Kolejnym oryginalnym rozwiązaniem jest kocioł na paliwo stałe o ultraniskiej emisji (specjalny kocioł o wysokiej sprawności, z elektrofiltrem) wykorzystującym wysokosprawny proces spalania w podwyższonej temperaturze, z dwustopniowym odbiorem ciepła i wyposażonym w elektrostatyczny separator cząstek stałych. Poza podwyższoną sprawnością energetyczną rozwiązanie to umożliwia stosowanie paliw stałych o gorszej jakości, tzn. sortymentów o drobnym uziarnieniu zawierających większy procent składników mineralnych, co wpłynie na znacznie niższe koszty eksploatacji. Ani na rynku polskim, ani europejskim nie istnieje tego rodzaju produkt. Kocioł został skonstruowany z uwzględnieniem wymogu bardzo niskiego poziomu emisji pyłów zawieszonych mimo spalania paliw niskiej jakości. Koszty całkowite wytworzenia kotła węglowego o ultraniskiej emisji określono na sumę 10 600 zł. Co przy cenach od 11 600 (Draco Versa Tekla) po 12 600 zł (ERG O PLUS Witkowski) obecnie produkowanych węglowych kotłów centralnego ogrzewania o mocy ok. 25 kW (w klasie 5 według normy PN EN 303-5:2012) jest konkurencyjne już na etapie zakupu. Dodatkowo analiza ekonomiczna wskazuje, że ze względu na wykorzystywane paliwo, które może być niższej jakości, proponowany kocioł ultraniskiej emisji o mocy 25 kW spłaci się po 5 latach, a zyski z jego stosowania w ciągu 10 lat przekroczą 20 tys.

Bardziej zaawansowanym rozwiązaniem jest domowa siłownia kogeneracyjna (składająca się z kotła niskoemisyjnego, mikroturbiny oraz elektrofiltra), zapewniająca produkcję w skojarzeniu: energii elektrycznej i ciepła w indywidualnym gospodarstwie domowym. Instytut Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku od wielu lat prowadzi badania nad konstrukcją zarówno mikroturbiny, układu wymiennikowego, jak i samego kotła. Jest to rozwiązanie najbardziej przyszłościowe, zapewniające produkcję ciepła i prądu dla gospodarstw domowych przy jednocześnie niskiej emisji. Obecnie budowana jest instalacja pilotażowa.

Ostatnią propozycją jest przyszłościowe rozwiązanie, a mianowicie domowa mikroelektrownia opalana węglem lub drewnem, która może stanowić cenne

Rys. 1.
Etapy wdrożenia koncepcji zwalczania smogu – propozycja IMP PAN.

Rys. 2.
Graficzne przedstawienie potencjalnej roli CB Jabłonna w polityce antysmogowej.



PROF. DR HAB. INŻ. JAN KICIŃSKI

uzupełnienie systemu energetycznego poprzez swoją masowość. W ocenie autora daje ona właścicielowi poczucie bycia realnym uczestnikiem systemu, co może wpływać na racjonalizację jego zachowań energetycznych w szerszej skali. Szacuje się, że mikrośiloownia o mocy 30 kW energii cieplnej i 4,5 kWe energii elektrycznej może dawać 1000 zł przychodu miesięcznie z generowanej energii elektrycznej.

Kwestia skalowania

Rozwiązania wymienione powyżej dotyczą instalacji dla małych gospodarstw domowych, które są jednym z głównych źródeł niskiej emisji. Pozostają jednak kotłownie gminne, kotłownie dla obiektów użyteczności publicznej itd., które również mają znaczący udział w zanieczyszczeniu powietrza. Dla tego segmentu rynku warto opracować technologie antysmogowe o większym przedziale mocy cieplnej, rzędu kilkuset kW i elektrycznej rzędu 20–30 kWe. Odbiorcami siłowni o mocy elektrycznej powyżej 20 kWe będą przede wszystkim większe gospodarstwa rolne. Liczba dużych indywidualnych gospodarstw rolnych o areale powyżej 50 ha jest szacowana na ponad 30 tys. i są to potencjalni odbiorcy średnich siłowni. Inną bardzo istotną grupą nabywców średnich siłowni będą przedsiębiorstwa komunalne z małych miast, gdzie podstawowym źródłem energii cieplnej jest węgiel kamienny. Liczba gmin wiejskich wynosi 1563 spośród wszystkich gmin w Polsce, których jest ogółem 2478. Przyjmując, że każda z gmin wiejskich ma szkołę i budynek użyteczności publicznej (np. urząd gminy), które korzystają z ciepła i prądu, daje to liczbę przekraczającą 3000 przyszłych możliwych użytkowników układu. W Polsce łącznie potencjalnych odbiorców układów turbogazowych o mocy ok. 30 kWe na paliwo stałe jest co najmniej 50 tys. i składają się na to duże gospodarstwa rolne, małe i średnie przedsiębiorstwa produkcyjno-usługowe z branży rolnej i leśnej oraz jednostki komunalne zarządzane przez samorządy.

Kwestia specjalności

Koncepcją, która może walkę ze smogiem zdecydowanie ułatwić, jest zastosowanie elektrofiltrów małej mocy zarówno do kotłów starszych, jak i nowszej generacji. Przedstawiłem założenia proponowanych rozwiązań powyżej w treści artykułu. Obliczenia zasadności sprzedaży elektrofiltra opierają się na obecnych cenach węgla oraz na założeniu, że przy seryjnej produkcji elektrofiltr będzie kosztował nie więcej niż 2500 zł za sztukę, co jest rozsądną wielkością. Dopuszczony do sprzedaży węgiel ekogroszek o wartości opałowej min. 24 MJ/kg kosztuje 775 zł/tonę, zaś węgiel drobnego sortu z kopalni Wujek o identycznej wartości opałowej kosztuje 509 zł/



TOMASZ PRZYBYLIŃSKI

tonę. Różnice między tego typu sortymentami węgla na innych składach opału są również widoczne. Skład opałowy Carbon w Kielcach sprzedaje najtańszy węgiel groszek za 787 zł/tonę, miał węglowy kosztuje zaś 537 zł/tonę. Podobna różnica cen pomiędzy toną węgla groszku i miału wynosząca około 250 zł występuje na innych składach. Starszy kocioł z elektrofiltrem może wykorzystywać tańszy węgiel, a emisja zanieczyszczeń będzie taka jak dla kotłów 5. klasy!

Podczas prac związanych z pilotażem pojawił się problem społeczny związany z niechęcią społeczeństwa do inwestowania w rozwiązania ograniczające emisje. Dlatego ważnym elementem proponowanego rozwiązania są działania edukacyjne, które zamierzamy podjąć w Centrum CB Jabłonna.

Podsumowując – smog, który jest problemem, można uczynić naszą specjalnością technologiczną.

JAN KICIŃSKI

Autor serdecznie dziękuje swoim najbliższym współpracownikom z Instytutu Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku – dr. M. Lackowskiemu, M. Dorsowi, D. Kardasiowi, A. Jaworkowi, J. Podlińskiemu oraz dr. G. Żywicy – za prace nad tą tematyką i przesłane materiały.

Centrum Badawcze PAN
– Konwersja Energii
i Źródła Odnawialne
Jabłonna: wersja
demonstracyjna
elektrofiltra wraz z kotłem.

Chcesz wiedzieć
więcej?

Kiciński J., Do we have a chance for small-scale energy generation? The examples of technologies and devices for distributed energy systems in micro & small scale in Poland, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences*, Vol. 61, No.4, 2013.

Kiciński J., Żywica G., *Steam Microturbines in Distributed Cogeneration*, Springer, SBN 978-3-319-12017-1, 2014.

Kiciński J., Quo Vadis Energetyko? Od energetyki wielkoskalowej do rozproszonej. A co dla Polski?, *Nowa Energia*, 2 (62)/2018.

Lackowski M., Karwacki J., Przybyliński T., Heda Ł., Kluska J., Cenian A., Lampart P., *Pomiar charakterystyk instalacji kogeneracyjnej pracującej w układzie ze zgazowarką biomasy w Szepietowie*, Monografia, 2016, ISBN/ISSN: 978-83-88237-57-7.

Podliński J., Niewulis A., Mizeraczyk J., Electrohydrodynamic flow and particle collection efficiency of a spike-plate type electrostatic precipitator, *Journal of Electrostatics*, 67 2009, 99–104.

NOWA ENERGIA NEW ENERGY

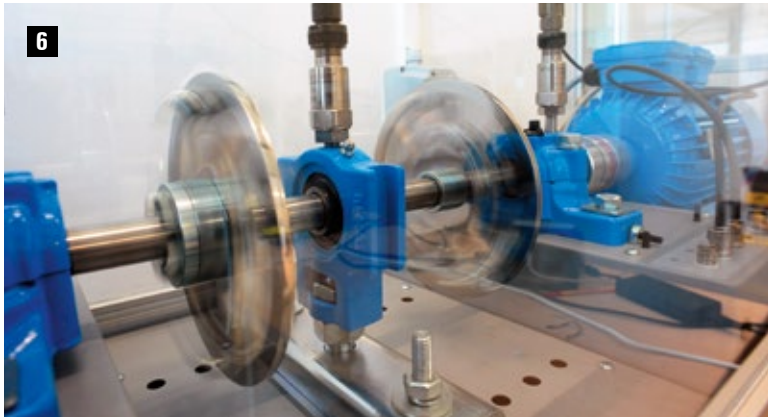
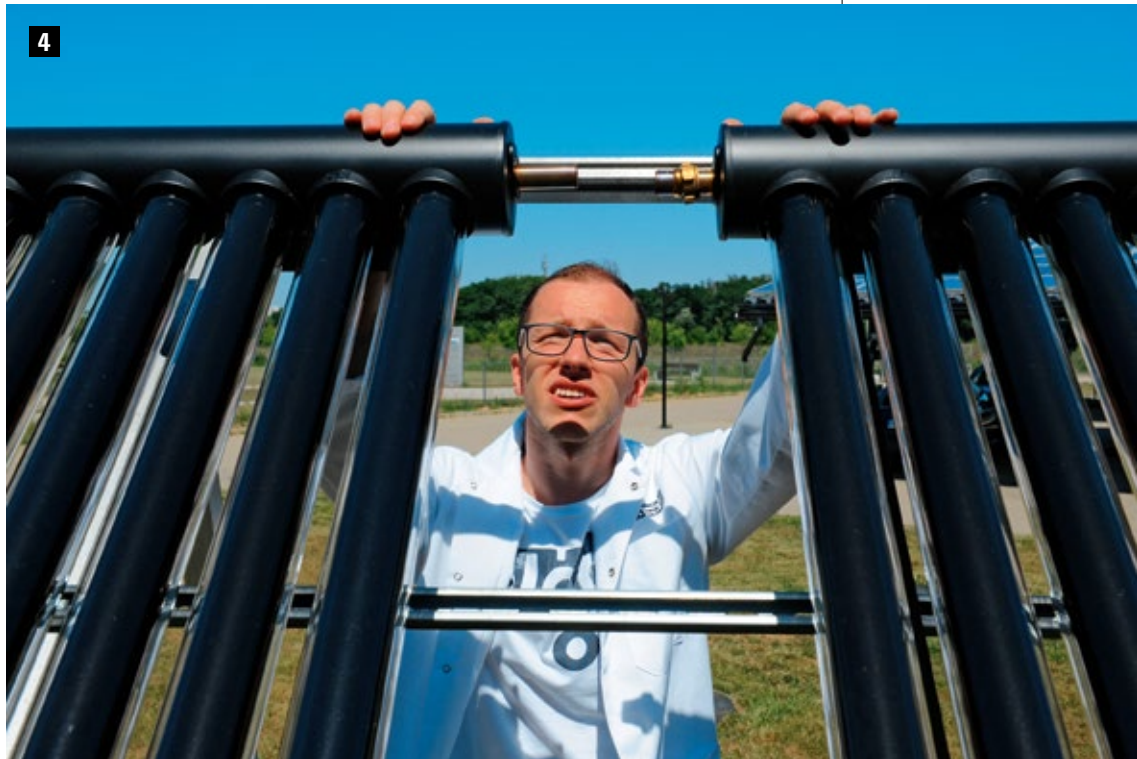
**F o t o g r a f i e / P h o t o g r a p h y b y
J a k u b O s t a ł o w s k i**

Na tym, żeby Polacy oddychali czystym powietrzem
pracują naukowcy w Gdańsku i Jabłonie.

Researchers in Gdańsk and Jabłonna are working
hard to ensure that Poles breathe cleaner air.

ACADEMIA smog w obiektywie In the Lens

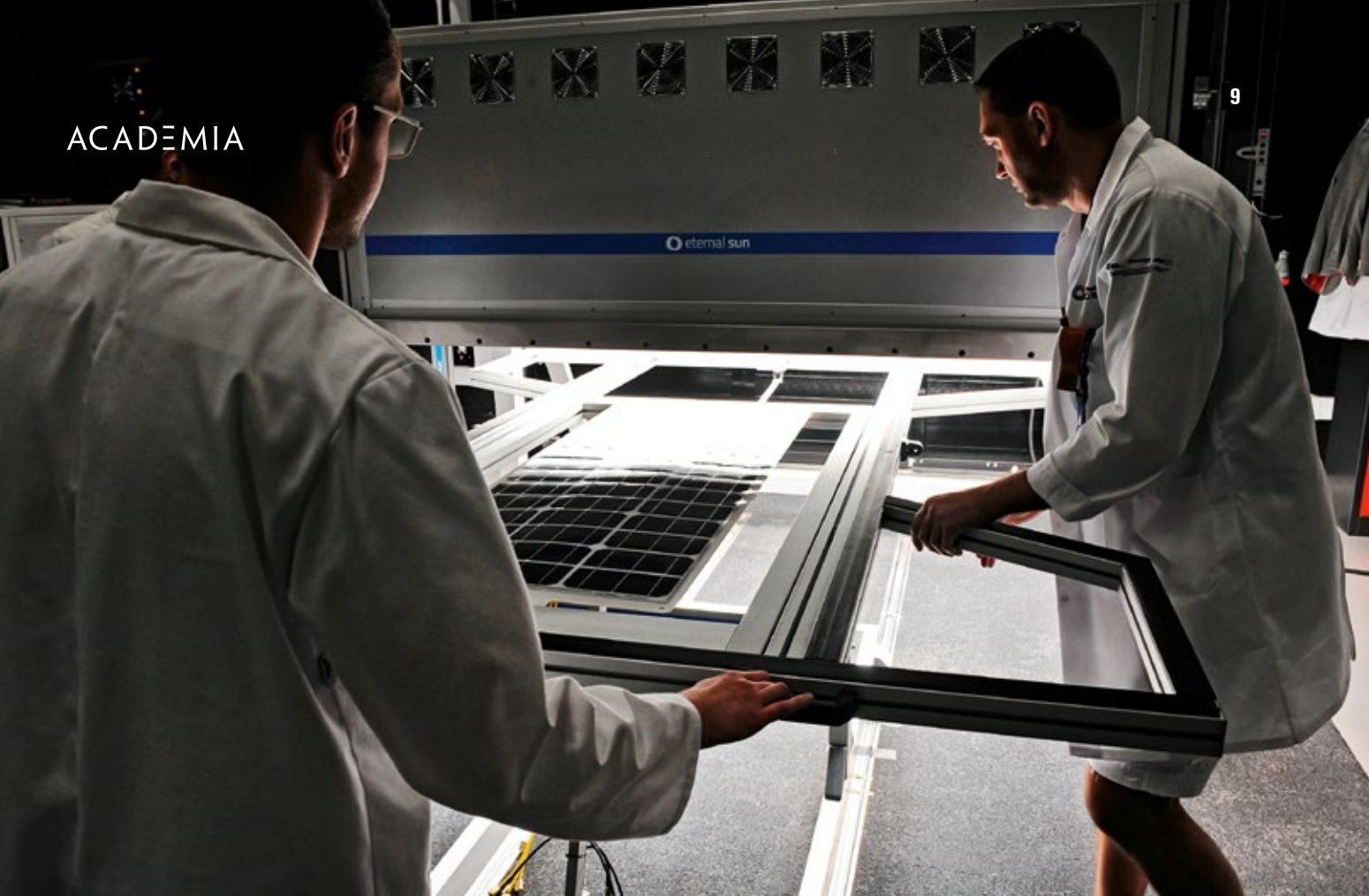




Fot. 2, 4.
Montaż kolektorów
słonecznych.
Installing solar collectors.

Fot. 3.
Wejście do centrum – tzw.
bursztynowy „kubik”.
Building entrance
– known as the amber
“cube”.

Fot. 5, 6, 7, 8.
Laboratorium domowych
siłowni kogeneracyjnych.
Laboratory developing
domestic cogeneration
power generators.



10



11

Fot. 9, 10, 11, 13, 15.
Laboratorium paneli
fotowoltaicznych.
Laboratory developing
photovoltaic panels.

Fot. 12, 14.
Dwukierunkowa
ładowarka do
samochodów
elektrycznych.
Bidirectional charger for
electric cars.



15



Główne zadania naukowe Instytutu Maszyn Przepływowych PAN (www.imp.gda.pl, www.kezo.pl) koncentrują się na konwersji energii w przepływach. W ciągu ostatnich kilku lat Instytut rozszerzył politykę naukową i zaczął rozwijać nową specjalizację naukową – małoskalową ekoenergetykę rozproszoną opartą o źródła odnawialne, w szczególności w formie domowych siłowni kogeneracyjnych.

Skupiamy się na wysokiej wydajności rozproszonej kogeneracji ciepła i energii elektrycznej oraz stymulowaniu high-tech i nowoczesnych technologii w polskim przemyśle. Pracujemy nad nowymi zagadnieniami związanymi z mikroturbinami, kotłami, konwersją biogazu, energią słoneczną i energią wiatru.

The main scientific task of the Institute focuses on energy conversion in flows. In the last few years, we have changed our scientific policy and have started to develop a new scientific specialization: small-scale distributed power engineering based on renewable energy sources, especially in the form of domestic cogeneration power plants.

We focus on the high efficiency of distributed heat & power cogeneration to stimulate high-tech and modern technology within Polish industry. We work on novel issues connected with microturbines, boilers, conversion of biogas, solar and wind energy.