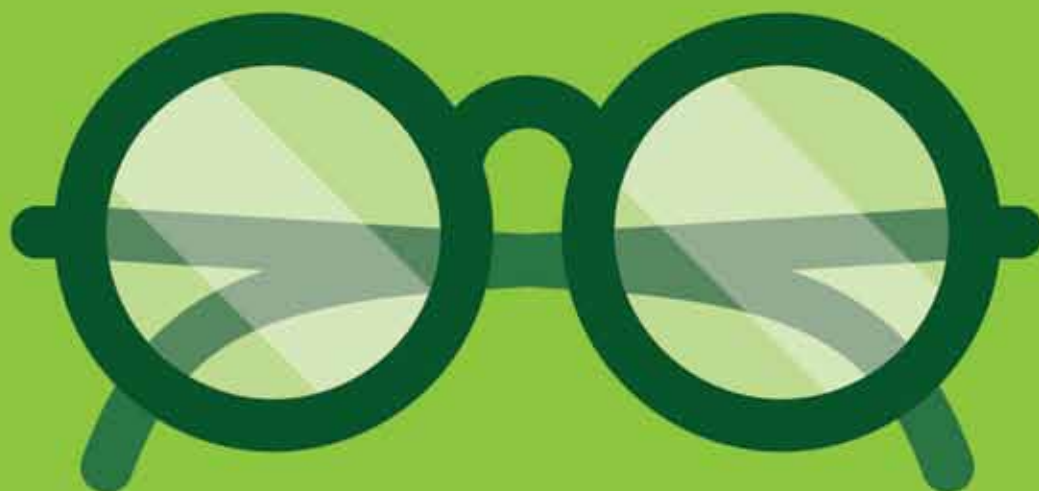




EKOINNOWACJE DLA OCHRONY KLIMATU

JESTEŚ KREATOREM? ZOSTAŃ EKOINNOWATOREM!



**EKOINNOWACJA TO COŚ WIĘCEJ, NIŻ INNOWACJA!
EKOINNOWATOR TO KTOŚ WIĘCEJ, NIŻ INNOWATOR!**

Nie wystarczy wdrożona w życie nowość, czy udoskonalenie.
Ważne jest też zmniejszenie negatywnego wpływu na środowisko.

WIESZ JAK TO ZROBIĆ?

Masz pomysł na ekoinnowacyjny produkt, funkcjonalność,
czy rozwiązanie technologiczne lub organizacyjne?

Jeśli tak, to weź udział w kampanii

**„JESTEŚ KREATOREM? ZOSTAŃ EKOINNOWATOREM!”,
KTÓRA POMOŻE CI GO WYPROMOWAĆ!**

Więcej informacji

www.ekoinnowator.ue.poznan.pl

Dofinansowano ze środków
Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej



Od redaktora

K

limat na Ziemi nigdy nie był stały. Zmieniał się dynamicznie na przestrzeni dziejów. Jednakże nigdy nie było to widoczne lepiej niż w ostatnich latach. Ocieplenie klimatu potwierdziły niezależne instytucje – Amerykańska Narodowa Służba Oceaniczna i Meteorologiczna (ang. National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA), Narodowa Agencja Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej (ang. National Aeronautics and Space Administration – NASA), Japońska Agencja Meteorologiczna (ang. Japan Meteorological Agency, JMA) oraz niezależna grupa badaczy Berkley Earth. Instytucje te miniony rok ogłosiły najcieplejszym od 1880 r. Symptomami zmian klimatu są występujące coraz częściej anomalie pogodowe – nietypowe huragany, długotrwałe susze, powodzie czy topnienie lodowców.

Przykładowo w najzimniejszej miejscowości na półkuli północnej – Ojmionkonie w Rosji – styczeń br. okazał się najcieplejszym w historii pomiarów, a północne regiony Chile, gdzie deszcz może nie padać przez kilkanaście lat z rzędu, nawiedzają ostatnio opady deszczu i śniegu. W ciągu jednej doby spadło tam tyle opadów, ile – zgodnie z normą – powinno spaść przez osiem lat. Ostatnia zima w Europie też nie należała do standardów – podczas gdy w Polsce śniegu prawie nie było, Włosi doświadczyli największych śnieżyc w swoim życiu.

Anomalie pogodowe łączone są ze zwiększającym się zużyciem zasobów naturalnych, a przede wszystkim surowców energetycznych. Gazy cieplarniane, uwalniane w procesie spalania paliw kopalnych, wydatnie przyczyniają się bowiem do zmian klimatu.

Powstają jednak pytania: czy takie muszą być konsekwencje zaspokojenia potrzeb energetycznych gospodarki i gospodarstw domowych? Czy możemy w jakikolwiek sposób zapobiec powstawaniu niekorzystnych zmian klimatycznych?

Odpowiedzi można znaleźć w niniejszym biuletynie. Prezentujemy w nim przykłady ekoinnowacyjnych działań i rozwiązań zmierzających do ochrony klimatu. Serdecznie zapraszam do lektury!


Joanna Witczak

koordynator projektu „Jesteś kreatorem? Zostań ekoinnowatorem!”



EKO

„Jesteś kreatorem?

Zostań ekoinnowatorem!”

jest dodatkiem promocyjnym
do kwietniowego wydania (4/2015)
PRZEGŁĄDU KOMUNALNEGO
ISSN 1232-9126

Wydawca:



Wydawnictwa Komunalne:

Tomasz Szymkowiak
dyrektor – redaktor naczelny wydawnictw
60-124 Poznań, ul. Daleka 33
www.abrys.pl, biuro@abrys.pl
NIP 781-00-23-628

Dodatek przygotowany przez:

Tomasz Szymkowiak,
dyrektor – redaktor naczelny wydawnictw
Joanna Witczak, koordynator projektu
Małgorzata Maślowska-Bandos, redaktor
Barbara Kostrzewska, adiacja językowa
Dagmara Bołtrukiewicz, korekta

Projekt i fotoskład: Studio Poligrafii

Okładka: Depositphotos/violetkaipa

Druk: Zakład Poligraficzny
Antoni Frąckowiak

Oddano do druku: 10.04.2015
Nakład: 3500 egz.

„Jesteś kreatorem?

Zostań ekoinnowatorem!”

to ogólnopolska kampania informacyjno-
edukacyjna na temat ekoinnowacji



Niniejszy materiał został opublikowany dzięki
dofinansowaniu Narodowego Funduszu Ochrony
Środowiska i Gospodarki Wodnej.
Za jego treść odpowiada wyłącznie Uniwersytet
Ekonomiczny w Poznaniu.

Co z CO₂?

Największy udział w generowaniu efektu cieplarnianego ma dwutlenek węgla. Za pomocą jakich nowatorskich technologii można zmniejszyć jego ilość w powietrzu? Czy pojedyncze technologie są w stanie rozwiązać problem kontroli poziomu zawartości CO₂ w atmosferze?

■ Klimat globalny i zmiany, którym on podlega, są określone przez szereg czynników, wśród których bardzo istotny jest chemiczny skład atmosfery ziemskiej. Wszyscy są zgodni, że gazy występujące w atmosferze w ilościach śladowych (tj. poniżej 1% obj.) oraz zawieszone w niej cząstki materii, określane mianem aerozoli atmosferycznych, wywierają wpływ na wartość średniej globalnej temperatury, określając tym samym warunki termiczne panujące na naszej planecie.

Różnice temperatur

Energia Słońca jest źródłem większości energii docierającej do powierzchni Ziemi. Całkowitą średnią moc strumienia promieniowania słonecznego (F_s) w przestrzeni i w czasie oszacowano na 1368 W m^{-2} (wat – W – jednostka główna mocy w układzie SI, równa 1 J s^{-1}). Wartość ta została pomniejszona o część promieniowania, które uległo odbiciu z powrotem do przestrzeni kosmicznej. Znając wartość mocy strumienia promieniowania słonecznego (F_s), wartość współczynnika odbicia (A) oraz stałą Stefana-Boltzmana z prawa Wiena, oszacowano wartość średniej globalnej temperatury powierzchni Ziemi, która winna wynosić -19°C (254 K). Prowadzone obserwacje wskazują, że w rzeczywistości jej wartość odpowiada $+17^\circ\text{C}$ (290 K), a zatem jest wyższa od obliczonej o 36°C ($\Delta/\text{K} = 36$). Porównanie wartości średniej temperatury powierzchni planet sąsiadujących z Ziemią, tj. Marsa i Wenus, obliczonych i aktualnych, wskazuje, że te ostatnie są również wyższe odpowiednio o 6 i 505 K . Rodzi się zatem pytanie: dlaczego obserwowane wartości średniej temperatury powierzchni wspomnianych planet są wyższe od tych obliczonych?

Przystępując do obliczeń, przyjęto założenie, że strumień promieniowania emitowanego przez Ziemię ulega odbiciu do przestrzeni kosmicznej, co okazało się błędne, ponieważ częściowo ulega on absorpcji przez niektóre gazowe składniki atmosfery ziemskiej lub odbiciu przez zawieszone w niej cząstki materii (aerozole atmosferyczne), szczególnie te, które występują w niższych warstwach troposfery.

Zjawisko to uniemożliwia ucieczkę promieniowania długofalowego w zakresie $3\text{--}40 \mu\text{m}$ do przestrzeni kosmicznej. Efekt cieplarniany (ang. green house effect), zwany potocznie szklarniowym, stanowi miarę stopnia, w jakim substancje określane mianem cieplarnianych (ang. green house gases – GHG) są zdolne do zatrzymywania ciepła przy powierzchni Ziemi.

Podsumowując, strumień promieniowania słonecznego w zakresach nadfioletowym (ang. ultra violet – UV) i widzialnym (ang. visible – VIS) widma elektromagnetycznego jest absorbowany przez powierzchnię Ziemi,

ulegając konwersji do długości fal odpowiadających promieniowaniu długofalowemu, podczerwonemu, zwanemu też termicznym (ang. infra red – IR). Promieniowanie to jest zatrzymywane przez niektóre substancje występujące w niższych warstwach atmosfery, pełniąc funkcję jednokierunkowego filtra promieniowania termicznego.

Gazy cieplarniane

Substancje oddziałujące z promieniowaniem termicznym (IR) są obecnie dobrze rozpoznane. Określają one stopień absorpcji lub odbicia promieniowania słonecznego oraz promieniowania emitowanego z powrotem do przestrzeni kosmicznej. Zgodnie z definicją podaną w normie ISO 14064, gaz cieplarniany GHG „to każdy gazowy składnik atmosfery ziemskiej, który absorbuje i reemituje promieniowanie podczerwone, długofalowe, określane również mianem termicznego (IR)”.

Dotychczas zidentyfikowano ponad 30 jednostek tego typu połączeń, charakteryzujących się zwiększonym udziałem w radiacyjnym wzmocnieniu ocieplania. Wkład do efektu ocieplania jest zazwyczaj odnoszony do udziału we wzmocnieniu radiacyjnym, który określa ilość energii ($W = \text{J s}^{-1}$) docierającej do Ziemi w przeliczeniu na metr kwadratowy ($W \text{ m}^{-2}$) jej powierzchni w wyniku wzrostu stężenia każdego z gazów cieplarnianych.



Depositphotos/ezper

Do najważniejszych gazów cieplarnianych – oprócz pary wodnej [H₂O (gaz)], dwutlenku węgla (CO₂), metanu (CH₄) i tlenu azotu (I) (N₂O) – zaliczane są również połączenia halogenoorganiczne, głównie freony, oznaczane akronimem CFC (ang. chlorofluorocarbon) i ich bromowe analogi – halony, związki perfluorowęglowe, sygnowane jako PFC (perfluorocarbon), i sześćfluorek siarki (SF₆). Każde z tych połączeń charakteryzuje się w wysokim stopniu zróżnicowaną wartością wskaźnika globalnego potencjału ocieplania (ang. global warming potential – GWP).

Występująca w atmosferze ziemskiej para wodna H₂O (gaz) jest najważniejszym ze wszystkich gazów cieplarnianych. Jej stężenie wykazuje dużą zmienność zarówno w czasie, jak i w przestrzeni, jednak globalna średnia wilgotność jest stała i wynosi ok. 1%. W przypadku tego składnika atmosfery nie obserwuje się udziału aktywności antropogenicznej, która by prowadziła do znacznego zwiększenia jego stężenia, co nie zmienia faktu, że bierze on istotny udział w procesach sprzężenia zwrotnego. Oszacowano, że efekt cieplarniany związany z parą wodną odpowiada mocy o wartości ok. 110 W m⁻². Wszystko to sprawia, że para wodna – mimo że istotnie przyczynia się do ocieplania klimatu – nie znajduje się na liście antropogenicznych gazów intensyfikujących efekt cieplarniany.

Zidentyfikowane w atmosferze ziemskiej gazy cieplarniane wykazują duże zróżnicowanie udziału w generowaniu efektu cieplarnianego, który w praktyce ilościowo opisują dwa wskaźniki. Pierwszy to wskaźnik względnego chwilowego wzmocnienia radiacyjnego ocieplania, oznaczany akronimem RIRE (ang. relative instantaneous radiative forcing), stanowiący miarę wzrostu absorpcji promieniowania termicznego (IR), powodowanej wprowadzeniem do atmosfery określonego gazu cieplarnianego. Wartość tego wskaźnika dla CO₂ przyjęto jako równą 1. Drugim wskaźnikiem jest wskaźnik potencjału globalnego ocieplenia, sygnowany jako GWP (ang. global warming potential), który opisuje wkład danego gazu w określonym horyzoncie czasowym w ocieplenie w porównaniu z CO₂ dla którego wartość GWP przyjęto na poziomie 1.

Tendencja wzrostowa

Największy udział w generowaniu efektu cieplarnianego – spośród wszystkich znanych gazów cieplarnianych – szacowany na 52%, przypisuje się antropogenicznemu dwutlenkowi węgla (CO₂). Jest on uwalniany do atmosfery ziemskiej w wyniku produkcji energii elektrycznej (36%), aktywności przemysłowej (24%), spalania paliw przez środki transportu (30%), a także pozyskiwania ciepła dla celów przemysłowych i cywilnych (10%). Pierwsze z dwóch wymienionych źródeł są rozpatrywane jako „stężone emisje”, zaś dwa kolejne jako „rozcieńczone emisje”. Klasyfikacja ta jest pomocna przy dokonywaniu wyboru technologii ograniczającej ich emisję do atmosfery. Należy wspomnieć o istotnym udziale naturalnych źródeł CO₂, z których najistotniejsze to: źródła geologiczne, procesy oddychania, realizowane przez nieustannie rosnącą populację ludzi (1,4 kg CO₂/dobę *per capita*), zwierząt hodowlanych, mikroorganizmów oraz niektóre uprawy (np. ryżu), spalanie biomasy roślinnej oznaczanej symbolem CH₂O, a także procesy biochemiczne zachodzące w ekosystemach wodnych.

Antropogeniczny dwutlenek węgla (CO₂) nie zostaje całkowicie użyty w naturalnym cyklu biogeochemicznym węgla pierwiastkowego (C), co sprawia, że jego stężenie w atmosferze nieustannie wzrasta (tabela). Podobnie

od 1980 r. Tendencję znacznego wzrostu wielkości emisji CO₂ wyjaśnia się szybko rosnącą populacją ludzi, wzrostem zapotrzebowania na energię elektryczną i znaczącą poprawą standardu życia (wzrost konsumpcji). Symulacja trendów emisji w horyzoncie czasowym do 2060 r. wskazuje, że zarówno w USA, jak i w krajach uprzemysłowionych wzrost wielkości emisji CO₂ jest kilkakrotnie mniejszy niż w krajach rozwijających się.

Konieczność redukcji emisji

Kraje członkowskie UE, ratyfikując w 2002 r. protokół z Kioto, zobowiązały się do zredukowania wielkości emisji gazów cieplarnianych o 8%, przyjmując za poziom odniesienia rok 1990. Kolejne dyrektywy UE określały wprowadzane korekty dotyczące wielkości tych redukcji i terminów ich redukcji.

Wszystkie z proponowanych rozwiązań pozwalających na istotne zmniejszenie wielkości emisji gazów cieplarnianych przy obecnym stanie techniki są możliwe do zrealizowania. Analiza aktualnie dostępnych procesów technologicznych wskazuje, że głównie polegają one na: zwiększeniu efektywności procesów produkcji energii elektrycznej i ciepła, opartych na paliwach węglowych (np. poprzez spalanie paliwa w stanie fluidalnym, rekonstrukcję pieców czy kogenerację), zwiększeniu efektywności wykorzystania energii elektrycznej poprzez eliminację nadmiernego zużycia (oszczędzanie) i unikanie niewłaściwego użytkowania, stosowaniu alternatywnych źródeł energii, zastępowaniu paliw węglowych olejem lub gazem ziemnym oraz na adopcji innych innowacyjnych technologii spalania, produkcji energii z biomasy, wylesianiu i zalesianiu, a także odzysku, unieszkodliwianiu lub praktycznym wykorzystaniu CO₂ w procesach przemysłowych.

Ostatnia z wymienionych technologii wydaje się być bardzo obiecująca, ale obecnie jej stosowanie jest ograniczone ze względu na ponoszone koszty. Należy mieć na uwadze fakt, że każdy z proponowanych procesów, umożliwiających ograniczenie wielkości emisji GHG, prowadzi do wzrostu ceny energii elektrycznej i może stanowić istotną barierę dla realizacji wszelkiego rodzaju technologii.

■ Stężenie CO₂ na przestrzeni lat

Rok	Stężenie CO ₂ [ppm]
1800	275
1992	365
2014	400

jest w przypadku niektórych innych gazów, zaliczanych do GHG.

Prowadzony nieustannie monitoring jakości powietrza wskazuje, że w krajach uprzemysłowionych w latach 1950-1970 zanotowano istotny wzrost wielkości emisji CO₂ podczas gdy w krajach rozwijających się ma to miejsce dopiero

Odzysk CO₂

Odzysk odpadowego dwutlenku węgla można realizować dwoma sposobami, w zależności od stężenia jego źródła. W przypadku gazów spalinowych oraz pochodzących z elektrowni (16-18% CO₂) czy też uwalnianych

z niektórych gałęzi przemysłu (zawierających do 99% CO₂) dwutlenek węgla jest w postaci stężonej, natomiast w atmosferze – rozcieńczonej.

Koszt odzysku CO₂ zawartego w gazach spalinowych zależy od jakości użytego do spalania czynnika utleniającego, którym może być np. powietrze. Wymaga to jednak przeprowadzenia separacji (oddzielenia) CO₂ od innych składników spalin, takich jak tlenek azotu(I) (N₂O), tlenek azotu(II) (NO), tlenek azotu(IV) (NO₂) oraz tlenek siarki(IV) (SO₂) i tlenek siarki(VI) (SO₃). Czynnikiem utleniającym może być też tlen (O₂), jednak jego użycie do spalania paliw węglowych zwiększa wydatki związane ze skropleniem i destylacją powietrza, choć jednocześnie pozwala na zmniejszenie kosztów wynikających z separacji gazów spalinowych i emisji NO_x (tj. NO i NO₂). Separacja może być realizowana za pomocą skondensowanych faz (patrz ramka).

Ostatnią alternatywą jest wiązanie CO₂ w biomacie (fotosynteza), ponieważ zarówno rośliny, jak i algi to najprostszy, naturalny sposób jego wiązania z rozcieńczonego źródła, jakim jest atmosfera.

Co dalej?

Dokonując odzysku CO₂, musimy zdecydować o jego ostatecznym losie, mając do wyboru: wiązanie przez nieorganiczne materiały, recykling polegający na zastosowaniu go jako źródła węgla pierwiastkowego (C) w syntezie produktów chemicznych, a także eliminację w naturalny sposób poprzez wprowadzenie do warstwy wodonośnej, głębokich węgłobieżi lub wód oceanicznych, co jednak wymaga określenia wpływu wysokiego stężenia CO₂ na środowisko przyrodnicze. W tym przypadku rozpatrywane są następujące możliwości (sposoby) techniki jego immisji (pochłaniania):

- załączanie gazowego dwutlenku węgla (CO₂) do głębokich lub powierzchniowych wód,
- załączanie do wód ciekłych lub stałych hydratów dwutlenku węgla o wzorze ogólnym CO₂·nH₂O; są to połączenia zaliczane do grupy klatratów – krystalicznych związków, w których CO₂ jest uwiecznione w sieci krystalicznej lodu, co ma miejsce przypadku, gdy ciśnienie przekracza 1 MPa, zaś temperatura jest niższa od 0°C,
- składowanie stałego dwutlenku węgla w podziemnych formacjach geologicznych,
- wprowadzanie do zbiorników powstałych po eksploatacji ropy naftowej i gazu ziemnego,
- załączanie do głębokich poziomów wodonośnych – solanki,
- załączanie do nieprzydatnych i głęboko zalegających złóż węgla,
- zastosowanie metody ECBM (ang. enhanced coal bed methane), polegającej na załoczeniu do wyrobisk węglowych CO₂ z jednoczesnym wyparciem z nich metanu (CH₄).

Źródło węgla

Istnieje cały szereg możliwości praktycznego stosowania CO₂ jako źródła węgla pierwiastkowego (C) w syntezie substan-

Separacja CO₂ od innych składników spalin może być realizowana za pomocą skondensowanych faz, na które składają się:

1) fazy ciekłe:

- wodne roztwory zasad,
- aminy, spośród których najczęściej stosowaną jest monoetanolamina (MEA), powstały węglan w 120°C uwalnia związany CO₂ (regeneracja), koszt odzysku 1 tony CO₂ oszacowano w tym przypadku na około 40 zł,
- alkohole i glikole, np. metanol (CH₃OH, glikol etylenowy HOCH₂-CH₂-OH),
- inne organiczne rozpuszczalniki (węglany, etery);

2) fazy stałe:

- zasadowe tlenki,
- sita molekularne (materiały nanoporowate o ściśle określonym zakresie rozmiaru porów);

3) selektywne membrany, które nie wymagają stosowania rozpuszczalników i zajmują niewiele miejsca, takie jak:

- polimery organiczne,
- materiały nieorganiczne,
- ciekłe membrany.

cji organicznych i przewiduje się, że będą one odgrywać coraz większą rolę w rozwiązaniu problemu kontroli wielkości emisji CO₂ do atmosfery. Wyróżnia się w tym przypadku dwie drogi wykorzystania CO₂ jako reagenta w przemyśle chemicznym. Pierwsza polega na wiązaniu CO₂ w procesie syntezy:

- mocznika (H₂NCONH₂) stosowanego do produkcji nawozów, karmy dla zwierząt i żywic,
- niezmienionej postaci w połączeniach zawierających grupę karboksylową -COOOH, takich jak: karboksylany (RCOOR), węglany (ROCOOR) i poliwęglany estry kwasu węglowego, karbaminiany (RR'NCOOR") i poliuretany (poliizocyjaniany),
- nieorganicznych węglanów pierwiastków grupy I (Li, Na, K, Rb i Cs) i grupy II (Ba, Mg, Ca, Sr i Ba) i ich soli, znajdujących szerokie zastosowanie jako pigmenty np. w przemyśle szklarskim,
- rozmaitych preparatów farmaceutycznych, np. aspiryny (kwas acetylosalicylowy).

Druga metoda polega na redukcji CO₂, prowadzącej do powstania postaci zawierającej jeden atom węgla (C) C_r, np. CO, CH₂O, CH₃OH, CH₄ lub ich homologów zawierających w swoim składzie n atomów węgla (C_n).

Koszt odzysku CO₂ wynikający z konieczności jego sprężania, pompowania, transportowania i usuwania, musi być wzięty pod uwagę. Rozsądne prognozy globalnych kosztów oszacowano na 30-50 dolarów za 1 tonę CO₂, w zależności od wielkości elektrowni lub ilości usuwanego dziennie dwutlenku węgla.

Istotnymi źródłami CO₂ znajdującego zastosowanie w przemyśle, są naturalne odwierty (studnie), procesy przemysłowe, procesy fermentacji, produkcja cementu, a także procesy spalania węgla, gazu ziemnego, ropy naftowej i ich produktów oraz biomasy (np. drewna).

Technologiczne sposoby zagospodarowania CO₂ obejmują również jego stosowanie w procesie oczyszczania ścieków, w przemyśle spożywczym do nasycania napojów oraz pakowania i zamrażania żywności, w chłodnictwie jako czynnika chłodzącego do ekstrakcji ropy naftowej, jako obojętne medium podczas spawania (zgrzewania), odlewania metali i ich stopów, w charakterze czynnika gaśniczego, a także jako zamiennika freonów w sprayach w roli czynnika rozpylającego.

Istnieje ponadto szereg koncepcji nowych metod zagospodarowania CO₂, z których na szczególną uwagę zasługuje katalityczna synteza metanolu (CH₃OH) przy użyciu CO₂ jako reagenta, konwersja CO₂ przez szczególny rodzaj alg (sinic) do biopaliw oraz metoda synergii wysokotemperaturowej, CO₂ i H₂ pozyskiwanych w procesie elektrolizy H₂O (potrzebna do jej realizacji energię cieplną dostarczy reaktor atomowy; w przypadku, gdy zostanie opracowana tańsza i prostsza do przeprowadzenia konwersja wody (H₂O) do wodoru (H₂), będzie to szczególnie obiecujące rozwiązanie).

Z treści raportów z seminariów organizowanych przez Międzynarodową Agencję Energetyczną oraz Organizację Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (IEA-OECD), poświęconych technologiom ograniczającym wielkość emisji gazów cieplarnianych, wynika, że pojedyncze technologie nie są w stanie rozwiązać problemu kontroli poziomu zawartości dwutlenku węgla w atmosferze. Rozwiązanie problemu upatruje się w możliwie jak najszybszym opracowaniu i wdrożeniu systemu zintegrowanego. ■

prof. dr hab. Zenon Fołtynowicz,

Katedra Towaroznawstwa i Ekologii Produktów Przemysłowych, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu

prof. dr hab. Leszek Wachowski,

Wydział Chemii, Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu

Pomysły „z kosmosu”?

Budowa „słońca” na Ziemi, elektrowni na orbicie geostacjonarnej czy też ogromnego pasa paneli słonecznych na powierzchni Księżyca... Irracjonalne? Pomysły, które jeszcze niedawno były za takie uznawane, dziś są realizowane. Co więcej, niektóre mają szansę powodzenia.

■ Rozwojowi gospodarki światowej i wzrostowi zaludnienia świata towarzyszy nieustanne zapotrzebowanie na energię. Przeciętny Europejczyk zużywa 10 kW energii elektrycznej w ciągu jednej sekundy. Tymczasem zasoby surowców naturalnych są na wyczerpaniu. Nie bez znaczenia dla środowiska jest ich eksploatacja i wykorzystywanie. Wpływ działalności człowieka na planetę jest ogromny. Gazy cieplarniane uwalniane w procesie spalania paliw kopalnych powodują oczywiste zmiany klimatu. Lato 2014 r. okrzyknięto najgorętszym w dziejach pomiarów temperatury. Spalamy paliwa kopalne, zapominając o tym, że nie są to zasoby, z których można korzystać bez końca.

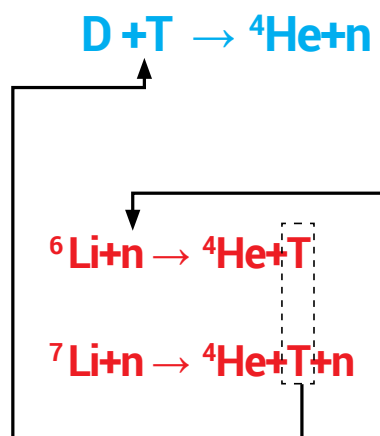
Alternatywą są odnawialne źródła energii. Elektrownie je wykorzystujące istnieją od lat i są coraz bardziej udoskonalane w celu zwiększenia wydajności czy ekologiczności tak uzyskiwanej mocy. Technologicznie produkcja energii pochodzącej ze słońca, wiatru czy wody ma wiele ograniczeń i nie jest rozwiązaniem idealnym. Elektrownie heliometryczne wymagają odpowiednio nasłonecznionych terenów. Obszary, jakie elektrownie takiego typu zajmują, są ogromne, a zmiany związane z ustawieniem i budową wymaganej konstrukcji mogą spowodować trwałe szkody w ekosystemie. Z kolei elektrownie wiatrowe od lat budzą kontrowersje wśród mieszkańców, na terenach których są budowane, oraz bardziej lub mniej uzasadnione sprzeciwu ekologów.

Uwzględniając rosnący popyt na energię, można założyć, że energooszczędne technologie tylko w niewielkim stopniu ograniczą zapotrzebowanie na nią. Kluczem do rozwoju naszej cywilizacji staje się więc znalezienie, a następnie sprawdzenie i upowszechnienie nowych źródeł energii. Oczywistym kierunkiem jest poszukiwanie „czystej” energii. Może to będzie słońce, wódór, a może coś jeszcze innego. Obecny światowy pobór mocy elektrycznej i grzewczej szacuje się na 13,5 TW, czyli może go pokryć 13,5 tys. dużych elektrowni o mocy 1 GW. Musimy jednak założyć, że w ciągu najbliższych kilkudziesięciu lat będziemy musieli zwiększyć produkcję mocy o 15-22 TW i wytwarzać 2,5-krotnie więcej energii niż dotychczas¹. Zapotrzebowanie na energię elektryczną jest ogromne i trudno wyobrazić sobie codzienne życie bez prądu.

Ponieważ ludzkość ma „kosmiczne” wymagania, naukowcy zaczynają czerpać inspirację do budowy nowych elektrowni właśnie z kosmicznych źródeł.

Budujemy „słońce”

Najbardziej zaawansowany pomysł, jaki od lat jest realizowany, to budowa „słońca” na Ziemi. Gwiazda ta stała się inspiracją już w latach 50. ubiegłego stulecia – w momencie,



■ Rys. 1. Fuzja deuteru i trytu, produkcja trytu

kiedy zaczęto budować pierwsze tokamaki, czyli urządzenia do przeprowadzania kontrolowanej reakcji syntezy termojądrowej. Największy tokamak stawiany jest obecnie na południu Francji. Projekt jest bezprecedensowy. Najbardziej przekonują informacje dotyczące korzyści płynących z zastosowania fuzji termojądrowej do produkcji energii. Po pierwsze, jako paliwo stosowane mają być deuter i tryt, których ziemskie zasoby są liczone na miliony lat. Samo Jezioro Genewskie może dostarczyć deuteru na 1000 lat produkcji prądu, a tryt pozyskiwany jest z litu, którego nie zabraknie przez 60 mln lat (jest to składnik skorupy ziemskiej i wody morskiej). Jeden gram paliwa deuterowo-trytowego powinien dostarczyć 100 MWh energii elektrycznej. By otrzymać tę samą ilość energii z węgla, należałoby go spalić ok. 11 ton. W wyniku reakcji prowadzonej w tokamaku uzyskuje się jądro atomu helu i neutron. Ten ostatni ma podwójne zadanie. Po pierwsze, neutrony są niezbędne do produkcji energii elektrycz-

nej. Spowalniane w ścianie reaktora, ogrzewają otaczający go płaszcz, dzięki czemu spływająca w nim woda zamienia się w parę. To ona będzie napędzać turbinę parową i generować prąd elektryczny. Druga rola neutronów to produkcja trytu. Płaszcz reaktora zbudowany jest z litu, który, reagując z neutronami, wytwarza tryt (rys. 1).

Oczyszczony tryt wraz z deuterem stanowią paliwo plazmowe. Największą trudnością w odtwarzaniu warunków, jakie panują w słońcu, wydawało się być uzyskanie ogromnej temperatury reakcji, rzędu 150 mln stopni Celsjusza. Takie warunki można stworzyć właśnie w odpowiednio skonstruowanym tokamaku, w którym za pomocą specjalnych elektromagnesów otrzymuje się plazmę dzięki powstaniu 100 tys. razy większego pola magnetycznego od ziemskiego. Doświadczenia z plazmą deuterowo-trytową (tokamak JET, 1997 r.) pozwalają prognozować, że możliwe będzie uzyskanie zakładanych parametrów w stawianym we Francji reaktorze. Projekt ITER (ang. International Thermonuclear Experimental Reactor; po łacinie – droga) ma zademonstrować naukową i techniczną możliwość zrealizowania samopodtrzymującej się syntezy jądrowej. Powstał we współpracy międzynarodowej, w skład której weszły: Unia Europejska, Japonia, Federacja Rosyjska, Chiny, Indie, Stany Zjednoczone Ameryki Północnej i Korea Południowa².

Moc generowana przez reaktor ITER ma wynosić 500 MW. Objętość plazmy znajdującej się w pierścieniu to 837 m³. ITER będzie miał promień plazmy wynoszący 6,21 m. Reaktor ma się składać z 25 gigantycznych elektromagnesów, z których największy waży 840 ton³.

Powstające we wnętrzu maszyny pole magnetyczne będzie ogromną niewidzialną pułapką. Uwieszone w środku paliwo zapłonie na 500 sekund, osiągając temperaturę 100 mln stopni Celsjusza. W tym czasie reaktor wyprodukuje dziesięć razy więcej energii niż pobrał, z której będzie mógł oddać 25% mocy, bo reszta będzie konieczna do podtrzymania reakcji. ITER to nie tyle elektrownia, ile reaktor badawczy. Kolejnym krokiem będzie wybudowanie elektrowni plazmowej DEMO (rys. 2) zdolnej wytwarzać znaczne ilości energii i jednocześnie samowystarczalnej pod względem produkcji trytu. Szacuje się, że do wytworzenia 7 mld kWh energii rocznie wykorzystywać się będzie 100 kg deuteru i 3 tony naturalnego litu. Tradycyjna elektrownia węglowa na wyprodukowanie takiej ilości energii potrzebuje ok. 1,5 mln ton surowca⁴.

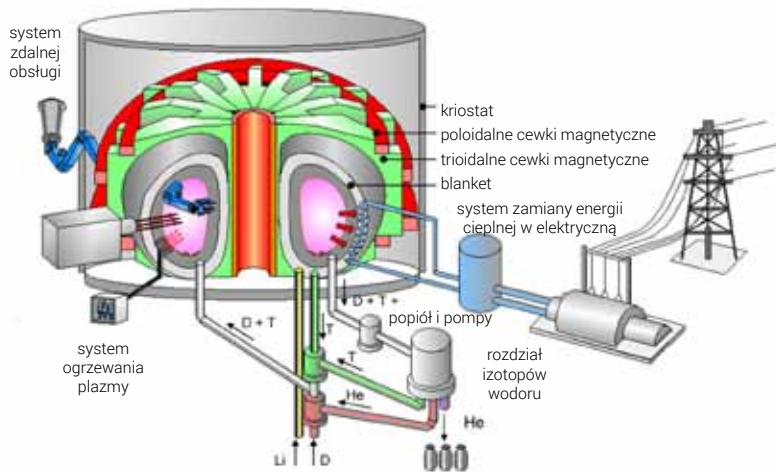
Bilans możliwości

Reaktor, którego budowa ma zakończyć się w 2016 r., ma kosztować ok. 15 mld dolarów. Mimo że przedsięwzięcie nadal jest realizowane, można już dokonać wstępnego, teoretycznego bilansu możliwości zastosowania takiego urządzenia (tabela).

Obawy budzić może zastosowanie w tokamaku radioaktywnego trytu. Tryt stosowany jako paliwo pośrednie rozpada się stosun-

kowo szybko, emitując promieniowanie beta. Czas jego połowicznego rozpadu szacowany jest na 12,3 lat. Elektrony o niskiej energii przemieszczają się na niewielką odległość, liczoną w milimetrach. Przenikliwość powstałych elektronów również jest znikoma. Niemniej wpływ trytu na organizm człowie-

nych, które są niebezpieczne dla środowiska naturalnego i zaburzają równowagę klimatyczną Ziemi. Niestety, trudno tak naprawdę ocenić działanie elektrowni termojądrowej, na razie tylko hipotetycznie można analizować wszelkie „za” i „przeciw” budowy takiej instalacji.



■ Rys. 2. Schemat elektrowni termojądrowej na bazie tokamaka³

ka uważany jest za szkodliwy. Innym problemem, podkreślanym przez konstruktorów i projektantów urządzenia, jest kwestia związana z powstawaniem potężnych wiązek energii (ang. edge localized modes – ELM), które – zgodnie z analizami – będą opuszczać plazmowe jądro reaktora i zagrażać strukturze całego obiektu. Jak wykazały eksperymenty, w tokamaku co sekundę będzie dochodziło do mikrosekundowych, chaotycznych erupcji wiązek energii o mocy ok. 20 GW, mogących powodować poważne szkody. Konieczne jest zatem przeprowadzenie odpowiednich zmian w konstrukcji reaktora. Ponieważ budynek musi być dodatkowo zabezpieczony przed siłami natury (np. trzęsieniem ziemi), koszty budowy cały czas rosną. Zwiększona produkcja neutronów w reaktorze może mieć wpływ na własności materiałów konstrukcyjnych całej instalacji. Bombardowanie komory neutronami będzie powodowało zniszczenia radiacyjne materiału i wzbudzenie niektórych pierwiastków. Z tego powodu zwraca się uwagę przede wszystkim na zintensyfikowanie badań i zainteresowań naukowców rozwiązaniem zagadnień związanych z reakcją deuter – deuter, a nie reakcjami z udziałem trytu.

Niemniej odpowiednie postępowanie z tym pierwiastkiem i jego produkcja w reaktorze bez konieczności specjalnego dostarczania surowca do elektrowni minimalizują niebezpieczeństwo kontaktu z substancją radioaktywną. Po zakończeniu pracy elektrowni materiały konstrukcyjne reaktora będą musiały być składowane nie dłużej niż 100 lat.

Reaktor fuzji termojądrowej to bezpieczne urządzenie. W przypadku awarii w ciągu kilku sekund reakcja zostaje samoczynnie wygaszona. Nie wytwarza on gazów cieplarnia-

Elektrownia nad Ziemią

Pomysł na elektrownię działającą praktycznie bez przerwy i bez względu na pogodę, może być zrealizowany dzięki wykorzystaniu równie nieprawdopodobnego projektu, jakim jest zbudowanie elektrowni na orbicie geostacjonarnej. Pomysł nie jest nowy. W 1968 r. amerykański inżynier Peter Glaser zaproponował dwa sposoby przesyłania energii słonecznej z orbity na Ziemię. Pierwszy wymagał zbudowania systemu wielkich satelitów geostacjonarnych. Miały one zostać wyposażone w olbrzymie baterie słoneczne. Wtedy było to nierealne, bowiem budowa i wysłanie na orbitę takiej masy ogniw byłoby zbyt drogie. Z tego względu naukowcy baczniej przyglądali się drugiej wersji planu, tj. umieszczeniu elektrowni słonecznych na Księżycu. Amerykański inżynier planował zamontowanie baterii słonecznych w kilkudziesięciu punktach na wschodnim i zachodnim krańcu Księżycza. Prawie 50 lat temu takie pomysły

Deposithotos/Taden1



traktowano jako fantastyczne, dzisiaj ich realizacja jest coraz bardziej możliwa. Kiedyś na przeszkodzie kosmicznej elektrowni stawały trudności związane ze zbudowaniem konstrukcji oraz przesyłaniem energii na Ziemię. Technologie XXI w. pozwalają na łatwiejsze wyniesienie ładunków na orbitę i to dzięki wykorzystaniu coraz tańszego transportu. Przesyłanie energii będzie możliwe dzięki

■ Zalety i wady reaktora ITER

Zalety	Problemy
Ogromne ilości uwalnianej energii	Radioaktywny tryt
Bezpieczeństwo	Potężne wiązki energii (ang. ELM – edge localized modes)
Obfite zasoby paliwa (deuteru i litu)	Usterki projektowe
Bieżąca eksploatacja nie wymaga przewozu materiałów radioaktywnych	Promieniowanie neutronowe
Brak emisji gazów cieplarnianych	
Wykorzystanie odpowiednich materiałów gwarantem braku odpadów radioaktywnych	



zastosowaniu metody, w której ukierunkowana wiązka mikrofal przechwytywana jest przez antenę naziemną. Konwersja mikrofal na prąd elektryczny może odbywać się ze sprawnością bliską 100%. Przewiduje się, że słaba wiązka mikrofal, nieszkodliwa dla przelatujących samolotów czy ptaków, będzie w stanie zasilić w prąd średniej wielkości miasto. Projekt komercyjnej stacji słonecznej w wersji najbardziej zaangażowanej proponuje japońska agencja kosmiczna. Termin jego realizacji wyznaczono na 2030 r. Orbiter pomyślany jest jako zwierciadła skupiające światło na centralnie zainstalowanej baterii ogniw fotowoltaicznych. Stacja odbiorcza umieszczona z dala od zabudowań (na morzu) będzie miała formę okręgu wypełnionego antenami odbiorczymi o średnicy około kilometra. Moc elektrowni przewidziana jest na 1 GW. Prognozuje się, że cena prądu z tego rodzaju elektrowni będzie wynosić ok. 9 centów za kWh.

Energia z Księżyca

Japońskie biuro architektoniczno-budowlane Shimizu poszło o krok dalej i zaproponowało wybudowanie ogromnego pasa

paneli słonecznych na powierzchni Księżyca. Pas miałby szerokość 400 km i długość równą obwodowi Księżyca (11 tys. km). Energia skumulowana najbliżej Ziemi, na tzw. jasnej stronie Księżyca, byłaby dalej transmitowana za pomocą mikrofal i energii lasera na naszą planetę. Odbiorniki miałyby być usytuowane w wielu różnych miejscach globu. Firma Shimizu przewiduje, że w 2035 r. rozpocznie się budowa instalacji paneli księżycowych. Projekt „Master Plan” zakłada wykorzystanie do budowy wyłącznie materiałów dostępnych na Księżycu. Szkło, beton, woda, krzem – tego, wg projektantów, na naszym satelicie nie zabraknie. Mimo oczywistych obaw związanych ze stratami energii wynikającymi z jej przesyłem pomysłodawcy zapewniają, że proponowany system w 100% zapewni pokrycie globalnego zapotrzebowania na energię⁶.

Projekt wydaje się być mało realny i trudno oszacować koszt takiego przedsięwzięcia. Problemem jest również ekologiczne uzasadnienie budowy. Ostateczny bilans elektrowni może wcale nie przemawiać za nazwaniem pozyskiwanej energii „zieloną”. Pozostaje też pytanie o to, kto wydałby pozwolenie na

budowę takiej konstrukcji na Księżycu i kto by nią zarządzał? Co więcej, nie wiadomo, czy przesyłanie energii nie miałoby negatywnego wpływu na organizmy żywe.

Warto zauważyć, że elektrownie na orbicie planuje umieścić również Europejska Agencja Kosmiczna (EADS). Prowadzi ona badania nad wykorzystaniem laserów działających w zakresie podczerwieni do produkcji energii elektrycznej. Prognozuje się przeprowadzenie w niedalekiej przyszłości testów w przestrzeni kosmicznej z wykorzystaniem Międzynarodowej Stacji Kosmicznej. Promieniowanie podczerwone może nie przenikać przez grubą warstwę chmur, co może ograniczać zastosowanie tej metody.

Istnieje jeszcze jeden ważny powód, dla którego warto wyprawić się na Księżyc. Są to złoża helu³. Na Ziemi jest zaledwie 10 ton tego materiału, natomiast na Księżycu – przynajmniej milion ton. Rozpad helu³ w reakcji termojądrowej z deuterem może być źródłem ogromnej ilości czystej energii. Już rozpoczął się wyścig o to, kto jako pierwszy zdobędzie ten „skarb”. Rosja i Chiny ogłosiły chęć wysłania misji kosmicznych na Księżyc.

Opanowanie przez człowieka kontrolowanej energii termojądrowej byłoby przełomowym wynalazkiem. Niestety, jak dotąd technologie do pozyskiwania energii z tego źródła są niepewne, drogie i technicznie skomplikowane. Nadzieja w możliwościach, jakie dają istniejące i wciąż rozwijające się technologie wykorzystania potencjału Słońca. Jeszcze 30 lat temu panele fotowoltaiczne instalowane były jedynie na statkach kosmicznych. Obecnie obroty tego rynku sięgają kilkudziesięciu milionów dolarów i powiększają się z dynamiką 20-60% rocznie. Prognozy wykonane przez Radę Naukową rządu niemieckiego przewidują, że za 80 lat 86% energii będzie pozyskiwane ze źródeł odnawialnych, a udział energii słonecznej w globalnym bilansie wyniesie 66%. Zapotrzebowanie ludzkości na energię wynosi to ok. 15 TW, a promieniowanie słoneczne docierające do naszej planety to moc 120 tys. TW. Można zaryzykować twierdzenie, że nasza przyszłość jest zależna od energii Słońca. ■

dr hab. inż. Katarzyna Wybieralska,
Katedra Technologii i Analizy Instrumentalnej,
Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu

Źródła

1. Karpiuk J.: *Apetyt na energię*. „Wiedza i Życie” 2/2007.
2. Woźnicka U.: *Synteza termojądrowa – źródło energii dla elektrowni przyszłości*. Raport nr 4/POP. Instytut Fizyki Jądrowej. Kraków 2008.
3. www.djs.si/proc/port2007/hm/pdf/003.pdf (dostęp: 3.04.2015).
4. Bradło D., Żelazny S., Żukowski W.: *Koncepcja elektrowni termojądrowej*. „Czasopismo Techniczne. Środowisko” 4/2012.
5. <http://spectrum.ieee.org/green-tech/solar/how-japan-plans-to-build-an-orbital-solar-farm> (dostęp: 3.04.2015).
6. www.shimzu.co.jp (dostęp: 3.04.2015).
7. Nowicki M.: *Nadchodzi era Słońca*. PWN. Warszawa 2012.

Ekoinnowacje w łupkach

Z wydobyciem gazu z formacji łupkowych wiąże się wiele wątpliwości w zakresie wpływu technologii na środowisko. W odpowiedzi na zarzuty w ostatnim czasie pojawiło się kilka ekoinnowacji, łagodzących wpływ wydobycia gazu łupkowego na powietrze.

■ Zasoby gazu łupkowego w Polsce były wstępnie szacowane przez Agencję Informacji Energetycznych (EIA) przy Departamencie Energii USA¹ na 5,3 bln m³. Ministerstwo Gospodarki podaje, że konsumpcja gazu w Polsce wyniosła w 2012 r. 15,8 mld m³, natomiast nowsze szacunki Centrum Informacyjnego Rządu z lipca 2014 r. podają, że Polska zużywa dziennie ok. 28 mln m³ gazu. Oznacza to, że przy obecnej konsumpcji gazu wstępnie oszacowane przez EIA zasoby gazu łupkowego wystarczyłyby na pokrycie zapotrzebowania na gaz ziemny w skali kraju na ponad 300 lat². Zasoby węglowodorów nie są nieskończone i w perspektywie rosnącego zapotrzebowania ludzkości na energię nieodnawialną posiadanie zasobów gazu łupkowego oraz jego eksploatacja może z czasem znacznie zwiększyć w Polsce na znaczeniu.

Zwiększenie udziału gazu w sektorze elektroenergetycznym mogłoby przyczynić się do zmniejszenia emisji dwutlenku węgla. W procesie spalania gazu w przemyśle energetycznym jest ona 2,5 razy mniejsza niż podczas spalania węgla kamiennego, brunatnego, a także ropy naftowej i jej pochodnych dla uzyskania tej samej ilości energii³. Warto więc rozważyć wybór takich rozwiązań technologicznych, które będą powodowały możliwie jak najmniejszy negatywny wpływ technologii związanych z wydobyciem gazu łupkowego na środowisko, w szczególności na atmosferę i zmiany klimatyczne.

Zagrożenia dla środowiska

Najbardziej rozpowszechnioną technologią stosowaną do wydobywania gazu łupkowego jest szczelinowanie hydrauliczne. Z procesem tym wiąże się jednak wiele zagrożeń w zakresie szkodliwych emisji gazów i pyłu do atmosfery, mogących mieć wpływ na zmiany klimatu. Są one spowodowane m.in. pracą sprzętu stosowanego w tego rodzaju działalności (praca wysokowydajnych urządzeń prądotwórczych, silników i pomp zatłaczających), zastosowanymi środkami transportu, a także emisją z otwartych zbiorników na zużytą wodę procesową, wcześniej wykorzystaną w procesie szczelinowania.

Duży problem stanowi także nadmierne zużycie wody. W przypadku każdego odwier-

go jej ilość to ok. 110 – 190 tys. hektolitrow³. Płyn szczelinujący w ok. 99,5% składa się z wody. Blisko 0,5% stanowią dodatki chemiczne, mające za zadanie obniżenie tarcia wewnętrznego płynu, zmniejszenie lepkości oraz przeciwdziałanie pęcznieniu hydrofilnych minerałów ilastych. Dodawane są także substancje eliminujące bakterie, które mogą być zatłoczone do otworu podczas wykonywania odwiertu, oraz środki przeciwkorozyjne. Rola dodanych substancji żelujących polega na udoskonaleniu transportu podsadzki, która dzięki temu nie opada na dno otworu i nie powoduje jego zatykania.

Podczas szczelinowania hydraulicznego chemikaliami mogą zostać zanieczyszczone także wody gruntowe i podziemne. Powodem tego może być m.in. niewłaściwie wykonane cementowanie otworu lub jego późniejsza techniczna degradacja. Należy mieć również na uwadze, że istnieje prawdopodobieństwo przedostania się cieczy szczelinującej lub gazu z poziomego odcinka otworu, co mogłoby się zdarzyć w przypadku odblokowania stref dyslokacyjnych o znacznym zasięgu. Innym zidentyfikowanym zagrożeniem wynikającym z zatłoczenia dużej ilości płynu jest ruch warstw skalnych w miejscach dyslokacji czyli tam, gdzie dochodzi do wygięcia warstw skalnych zwanych „fleksurami” oraz miejsc, gdzie następuje zerwanie ciągłości warstw skalnych, określanymi jako „uskoki”, i stref tektonicznych, odczuwany na powierzchni.

W poszukiwaniu rozwiązań

Na etapie poszukiwania gazu łupkowego zidentyfikowano dwa główne zagrożenia dla klimatu⁴. Pierwszym są emisje związane z pracą sprzętu stosowanego do poszukiwań, drugim – gaz pojawiający się w odwiercie, bezpośrednio emitowany do atmosfery lub technologicznie wypalany na pochodni (flarze). O ile w pierwszym z wymienionych przypadków ilość emitowanych spalin można zmniejszyć poprzez zastosowanie sprzętu o niższej emisyjności, o tyle flarowanie stanowi poważny problem, związany z emisją szkodliwych produktów spalania mieszanki węglowodorów do atmosfery. Według Banku Światowego objętość gazu wypalonego na flarze w 2010 r. na całym świecie wyniosła

blisko 135 mld m³ gazu ziemnego, co przekłada się na emisję CO₂ na poziomie 320 mln ton rocznie⁵.

Pochodnia ma szerokie zastosowanie nie tylko w przemyśle wydobywczym, ale też wszędzie tam, gdzie pojawiają się mieszanki palnych gazów (np. w zakładach przerobu ropy naftowej, chemicznych i przerobu gazu ziemnego, biogazowniach i na składowiskach odpadów). Flarowanie gazu stosowane jest ze względów bezpieczeństwa, co związane jest ze specyfiką procesów zachodzących w wymienionych miejscach. Spalanie gazowych produktów ubocznych na pochodni w rafinerii zabezpiecza przed nadmiernym obciążeniem instalacji gazu rafinerii oraz przed niekontrolowanym przemieszczaniem palnych mieszanek gazów i ogranicza ryzyko wystąpienia wybuchu. By ograniczyć występowanie tzw. czarnego dymu, do pochodni doprowadzana jest para wodna. Jeżeli jest jej zbyt dużo, to zostaje obniżone efektywne spalanie gazu i większe jego ilości dostają się do atmosfery. W związku z tym amerykańska Agencja Ochrony Środowiska (EPA) wprowadziła niezbędne modyfikacje w regulacjach, znacznie ograniczające stosowanie od 1 stycznia 2015 r. flarowania na terenie Stanów Zjednoczonych. W ten sposób wymusiła stosowanie ekoinnowacyjnych rozwiązań, polegających na wychwytywaniu gazu, późniejszym jego oczyszczeniu i przygotowaniu do transportu gazociągami w celu komercyjnej sprzedaży.

Zmiany w infrastrukturze

Etapy budowy kopalni gazu łupkowego to przede wszystkim zabezpieczenie organicznej warstwy gleby poprzez ułożenie nieprzepuszczalnej warstwy folii, a następnie płyt betonowych (warstwa humusu jest z reguły zrywana i wykorzystywana do usypywania wału ochronnego), izolacja powierzchni tere-





nu, wykonanie systemu drenażu i odprowadzania wód opadowych, budowa zbiorników na wodę opadową i procesową, budowa ujęć i przyłączy wodnych, a także zaprojektowanie przyszłych instalacji odbioru odpadów oraz sieci odbioru i przesyłu gazu.

W Stanach Zjednoczonych poważnym problemem na początkowym etapie wdrażania technologii szczelinowania hydraulicznego była zajmująca duży obszar gruntu siatka wierceń. Wyłączała ona z dotychczasowego użytkowania znaczne połacie terenu. Wynikającym z tego problemem było oddziaływanie na środowisko naturalne poprzez znaczący wzrost intensywności transportu kołowego, używanego do obsługi terenu wierceń. Wiązało się to przede wszystkim ze znacznym wzrostem emisji spalin do atmosfery, co mogło wpływać na ewentualne niekorzystne zmiany klimatu. EkoInnowacyjnymi rozwiązaniami w tym zakresie, z jednoczesnym ograniczeniem rozmiarów obszaru eksploatacji, były technologia wierceń kierunkowych i rozwiązanie „multi-well pad”, pozwalające na wykonywanie wielu odwiertów z obszaru jednej wiertni. Pomimo krytycznej oceny technologii pod względem skutków środowiskowych zastosowanie „multi-well pad” pozwala znacznie ograniczyć emisje związane z pracą sprzętu, który byłby niezbędny do wielu rozsianych po terenie wydobywania pojedynczych otworów wiertniczych, oraz emisje powstające w wyniku użycia znacznej liczby środków transportu kołowego, obsługującego pojedyncze odseparowane wiertnie⁶.

Zamiast wody

Najnowszym rozwiązaniem w zakresie ochrony warstw wodonośnych jest zastosowanie technologii bezwodnego szczelinowania. Przykładem są te, które wykorzystują gazy o obniżonych temperaturach. Technologia VRGE, proponowana przez firmę Expansion

Energy LLC, to zastosowanie naturalnego gazu ziemnego doprowadzonego do kriogenicznego stanu skupienia o gęstości zbliżonej do cieczy. Szczelinowanie zachodzi dzięki wykorzystaniu różnic temperatur pomiędzy gazem szczelinującym a mającymi wyższą temperaturę łupkami. Wraz z gazem niesiona jest podsadzka, której zadaniem jest przeciwdziałanie samozasklepieniu powstałych szczelin. Technologia ta jest znaczącą ekoInnowacją, ponieważ gaz ten może pochodzić z tego samego obszaru wydobywania (co znacznie ogranicza emisje związane z transportem kołowym) i jest alternatywą dla zagospodarowania gazu przeznaczonego do wypalenia technologicznego na flarze. Dzięki tej metodzie nie zachodzi emisja szkodliwych substancji z wykorzystanej do szczelinowania wody do atmosfery. Oczywiście, ten sam gaz może być wielokrotnie „użyty” lub też – ze względu na takie same właściwości fizykochemiczne – może zostać skierowany do sprzedaży wraz z gazem, który został wydobyty⁷. Należy jednakże mieć na uwadze fakt, że skroplenie gazu (doprowadzenie do kriogenicznego stanu skupienia) wymaga sporych nakładów energetycznych – zasilanie sprężarek.

Interesujące rozwiązanie proponuje firma Praxair. Polega ono na zastosowaniu skroplonego dwutlenku węgla, gdzie dodatkowym zabezpieczeniem i atutem jest jego niepalność. Zasada działania czynnika szczelinującego jest identyczna jak we wcześniejszej technologii⁸. Z kolei naukowcy Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie proponują w technologii szczelinowania wykorzystanie dwutlenku węgla w stanie nadkrytycznym – jego zatłaczanie odbywa się w stanie ciekłym (-34,5°C). EkoInnowacyjność tej metody polega na wykorzystaniu większego ciężaru właściwego dwutlenku węgla wraz ze zdolnością do adsorpcji skały łupkowej. Dzięki desorpcji metanu i adsorpcji CO₂ przez warstwę łupkową uzyskuje się efekt sekwestracji dwutlenku węgla w złożu, co jest bardzo pożądaną cechą w świetle unijnej polityki klimatycznej. Wadą proponowanego rozwiązania jest konieczność separacji CO₂ od wydobywanego gazu⁹.

Spśród innych ekoInnowacyjnych technologii bezwodnych, mogących przyczynić się do zmniejszenia emisji do atmosfery szkodliwych substancji wraz z parą wodną otwartych zbiorników na zużytą wodę procesową, warto wymienić szczelinowanie z użyciem azotu, który jest stosowany jako dodatek do energetyzowanych cieczy lub pian. Azot jest transportowany pod ciśnieniem oraz w niskiej temperaturze. Przed zatłoczeniem do odwiertu jest on podgrzewany i rozprężany. W pierwszym etapie szczelinowania zatłacza się ciekły azot w celu wytworzenia siatki szczelin, a w drugim – azot z dodatkiem materiału podsadzkowego.

Ciekawa jest także technologia szczelinowania z użyciem LPG (ang. Liquefied Petroleum Gas), będącego mieszaniną węglowodorów propanu i butanu (rozpuszczają się w nim gaz ziemny i ropa naftowa), który stan ciekły osiąga pod ciśnieniem od 2,2 do 4 atmosfer.

Przyczynia się do zwiększenia wydobywania w złożach o wysokim ciśnieniu kapilarnym. LPG jest zatłaczany w postaci żelu pod ciśnieniem 19 atmosfer. Jego wadami są niższa od wody gęstość i lepkość (przez co słabiej transportuje materiał podsadzkowy) oraz duża wybuchowość¹⁰.

Kolejną ekoInnowacyjnością, polegającą na ograniczeniu emisji, powodowanej przez transport kołowy do atmosfery, jest oczyszczanie zużytej wody procesowej w celu ponownego jej użycia do szczelinowania hydraulicznego lub też przywrócenia jej pierwotnego stanu czystości przed powrotem do naturalnych zasobów wodnych. Można to uzyskać dzięki metodzie opartej na procesie elektrodializy, będącej procesem membranowym. Pod wpływem działania potencjału elektrycznego jony transportowane są przez półprzepuszczalne membrany. Przez nie mogą przejść jony naładowane albo tylko dodatnio, albo tylko ujemnie. Oznacza to, że kationo-selektywna membrana pozwala przejść jonom tylko dodatnim, natomiast aniono-selektywna – ujemnym¹¹.

Mimo że początkowe szacunki dokonane przez Agencję Informacji Energetycznych mają się z danymi podawanymi przez Państwowy Instytut Geologiczny, wg których zasoby gazu łupkowego w Polsce są na poziomie 346-768 mld m³, warto poszukiwać takich rozwiązań, które spowodują minimalizowanie wpływu wydobywania gazu z formacji łupkowych na środowisko. W trosce o bezpieczeństwo energetyczne Polski należy brać pod uwagę każde rozwiązanie, które zdywersyfikuje źródła energii. ■

Robert Bocianowski,
Wydział Towaroznawstwa,
Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu

Źródła

1. U.S. Energy Information Administration. *World Shale Gas Resources: An Initial Assessment of 14 Regions Outside the United States*. Waszyngton, kwiecień 2011..
2. http://wyborcza.biz/Gieldy/1,132329,16628928,Rzad_Dostawy_gazu_przebiegaja_bez_zakloceń_bezpieczeństwo.html#ixzz3Svnh0emY (dostęp: 3.04.2015).
3. Albrycht I. (red.): *Gaz niekonwencjonalny – szansa dla Polski i Europy? Analiza i rekomendacje*. Instytut Kościuszkowski. Kraków 2011.
4. Stamford L., Azapagic A.: *Life cycle environmental impacts of UK shale gas*. „Applied Energy” 134/2014.
5. Fleisch T.: *Associated Gas Utilization via miniGTL. Conversion of flared gas into liquid fuels & chemicals*. The Global Gas Flaring Partnership (GGFR). Luty 2012.
6. Manda A.K., Heath J.L., Klein W.A., Griffin M.T., Montz B.E.: *Evolution of multi-well pad development and influence of well pads on environmental violations and wastewater volumes in the Marcellus shale (USA)*. „The Journal of Environmental Management” 142/2014.
7. www.expansion-energy.com/vrge_waterless_fracturing_eor_technology (dostęp: 3.04.2015).
8. www.praxair.com/industries/oil-and-gas/well-hydraulic-fracturing (dostęp: 3.04.2015).
9. http://kmiis.wme.wat.edu.pl/news_26.html (dostęp: 3.04.2015).
10. Labuda W.: *Zastąpić wodę – nowe metody szczelinowania*. <http://infolupki.pgi.gov.pl/pl/technologie/zastapic-wode-nowe-metody-szczelinowania> (dostęp: 3.04.2015).
11. Thiel G.P., Tow E.W., Banchik L.D., Won Chung H., John H. Lienhard J.H.: *Energy consumption in desalinating produced water from shale oil and gas extraction*. „Desalination”, 365/2015.

W sile... wiatru

Energia z wiatru to jedna z pierwszych, obok spalania drewna, form pozyskiwania energii z odnawialnego źródła. To także obszar gospodarki, w którym wykorzystuje się nowoczesne, przyjazne środowisku technologie.

■ Ekoinnowacje rozwijane są w różnych branżach, produktach i usługach. Rozwój technologii przyjaznych środowisku skupia się głównie na obszarze czystej energii, jej magazynowania, efektywności energetycznej, efektywnego wykorzystania zasobów naturalnych, a także zrównoważonego transportu i gospodarki wodnej. Globalny rynek rozwoju technologii środowiskowych i efektywnego wykorzystania zasobów naturalnych w latach 2007-2010 wzrastał rocznie średnio o 11,8%. Na lata 2011-2025 przewidywany średni rozwój tych technologii na rynku światowym wynosi 5,6%. By spełnić coraz trudniejsze wyzwania, związane z ochroną środowiska, kraje rozwinięte koncentrują się na badaniach i produkcji ekoinnowacyjnych technologii i produktów. Z drugiej strony to właśnie w tych państwach generowane jest największe zapotrzebowanie na czyste

powietrze, wodę i odpowiednią gospodarkę odpadami. Mogą one także pozwolić sobie na stosowanie obecnie bardzo drogich technologii, takich jak magazynowanie energii. Działająca przy Komisji Europejskiej instytucja badawcza Eco-Innovation Observatory (EIO) przewiduje, iż największy potencjał na rozwój ekoinnowacji jest w sektorze energetycznym, głównie w technologiach dla odnawialnych źródeł energii, transportu, produktów chemicznych, papieru, drewna i bioproduktów, a także gospodarki odpadami¹.

Doskonałym przykładem ekoinnowacji są elektrownie wiatrowe, które wytwarzają energię elektryczną przy pomocy generatorów (turbiny wiatrowe) napędzanych energią wiatru. Uzyskana w ten sposób energia jest uznawana za ekologicznie czystą, gdyż, pomijając nakłady energetyczne związane z wybudowaniem takiej elektrow-

ni, wytworzenie energii nie pociąga za sobą spalania żadnego paliwa.

Z wiatrem i pod wiatr

Energia z wiatru to jedna z pierwszych form pozyskiwania energii z odnawialnego źródła. Pierwotnie wykorzystywana była przez ludzi do mielenia ziarna lub pompowania wody. Pomimo iż technologia pozyskiwania energii z wiatru znana jest od XIX w., dopiero ostatnie 30 lat przyczyniło się do jej dynamicznego rozwoju. To właśnie potrzeba ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju, a także wzmocnienie bezpieczeństwa energetycznego spowodowało zwrócenie uwagi na większe wykorzystanie wiatru do produkcji energii elektrycznej.

Niemieckie i duńskie firmy rozpoczęły technologiczną produkcję elektrowni wiatrowych, przyczyniając się jednocześnie do ich rozwoju. Dzięki stworzeniu nowych miejsc pracy oraz wspierającej polityce rządów kraje te zmieniły świadomość swoich obywateli, którzy popierają rozwój ekoinnowacyjnych elektrowni wiatrowych, sami z nich korzystają i pozwalają na ich produkcję przemysłową. Zgodnie z danymi opublikowanymi przez Bundesverband Windenergie, w 2014 r. na terenie Niemiec do sieci elektroenergetycznej przyłączonych zostało 4750,26 MW mocy. Łącznie liczba zainstalowanej mocy z elektrowni wia-

trowych w Niemczech, zgodnie ze stanem na 31 grudnia 2014 r., wynosi 38 115,74 MW. W Polsce natomiast, w myśl informacji opublikowanej przez Urząd Regulacji Energetyki, w 2014 r. zainstalowanych zostało 444,29 MW energii wiatrowej, a stan zainstalowanej mocy na 31 grudnia 2014 r. wynosi 3833,832 MW. Przewiduje się, że do końca 2015 r. liczba ta ma się podwoić – ze względu na wejście w życie na początku 2016 r. uchwalonej w styczniu tego roku ustawy o odnawialnych źródłach energii i zmianie systemu wsparcia dla producentów energii z wiatru. Tak duża różnica w ilości zainstalowanej mocy na terenie Polski i Niemiec wynika z tego, iż w Polsce rozwój energetyki wiatrowej rozpoczął się znacznie później. Dopiero w latach 1991-2006 nastąpił „dynamiczny” przyrost mocy zainstalowanej – od 0,25 MW (1991 r.) do ponad 159 MW (2006 r.). W ostatnich latach zainteresowanie pozyskiwaniem energii z wiatru wzrastało w szybszym tempie, czego powodem były nie tylko wymagania unijne i obowiązujące prawodawstwo, ale także coraz nowsze rozwiązania technologiczne. Producentem rodzimych, małych siłowni wiatrowych była już nieistniejąca firma NOWOMAG z Nowego Sącza. Turbina tego producenta o mocy 160 kW została jako pierwsza wybudowana i przyłączona do sieci średniego napięcia (SN) w gminie Kwilcz (woj. wielkopolskie) w 2001 r. Niestety, z powodu nieodpowiedniego serwisu i braku części zamiennych przestała działać. Ze względu na niezachęcającą do rozwoju energetyki wiatrowej politykę państwa, m.in. bardzo skomplikowane procedury planistyczne, do niedawna brak ustawy o OZE, małe poparcie i niewielka promocja inwestycji elektrowni wiatrowych duże koncerny o światowym zasięgu, takie jak ENERCON, Nordex, Vestas i GE Energy, nie prowadziły badań nad nowymi konstrukcjami i technologiami na terenie naszego kraju. Polska jednak jest dużym dostawcą komponentów do produkcji elektrowni wiatrowych, a ze względu na swoje położenie geograficzne i warunki wietrzności nadal ma ogromny potencjał, jeśli chodzi o inwestycje w elektrownie wiatrowe.

Wiatrem po mapie

Podstawową wartością, która decyduje o rozwoju elektrowni wiatrowych na danym obszarze, są występujące na nim warunki wietrzności. Problemem potencjalnych inwestorów podczas wyboru lokalizacji jest m.in. brak ogólnodostępnych informacji dotyczących charakterystyki wiatru na wielu obszarach kraju. Prowadzone dotychczas prace nad oceną wietrzności na terenie Polski były wykonywane przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW). Pomiary wykonano w ok. 60 stacjach meteorologicznych, a ich wyniki opublikowano na mapie wietrzności dla obszarów Polski. Wynika z nich, że ok. 60% powierzchni kraju ma korzystne warunki do korzystania z wiatru

jako źródła energii odnawialnej. Za obszary uprzywilejowane uznaje się te, na których średnioroczna prędkość wiatru wynosi 5 m/s i więcej, a należą do nich wybrzeże Morza Bałtyckiego (w szczególności jego najbardziej wysunięta na północ część od Koszalina po Hel), Suwalszczyzna, środkowa Wielkopolska i Mazowsze oraz Bieszczady. Należy jednak podkreślić, iż mapa IMGW może być tylko wskazówką dla inwestora podczas wyboru lokalizacji inwestycji, ponieważ jest ona zbyt ogólna. Każdy inwestor w trakcie pracy nad rozwojem projektu elektrowni wiatrowej musi przeprowadzić w miejscu konkretnej lokalizacji planowanego przedsięwzięcia przynajmniej 12-miesięczne pomiary wietrzności na jak największej wysokości. Z jednej strony wykonuje je, by ocenić rentowność projektu, a z drugiej są one wymaganiem załącznikiem większości wniosków o udzielenie kredytu na przedmiotową inwestycję. Szczególnie w obliczu nowego systemu wsparcia, przewidzianego w ustawie o OZE, pomiary wietrzności będą bardzo istotne dla wykonania prognoz dla przewidywanej produkcji energii danej inwestycji. Podejmując decyzję o inwestycji w elektrownie wiatrowe, należy określić cel wykorzystania energii wiatru: czy będzie to mała elektrownia autonomiczna, o mocy do kilkudziesięciu kW (przyłączana do sieci wydzielonej, np. gospodarstwa domowego czy firmy produkcyjnej), czy też elektrownia wiatrowa o mocy od kilkuset kW do kilku MW (przyłączana do sieci ogólnokrajowej). Cel inwestycji determinuje wielkość urządzenia lub urządzeń, a ich parametry techniczne wpływają na kolejne czynniki warunkujące realizację inwestycji: przyrodnicze, prawne, społeczne oraz ekonomiczne.

Z obszernej oferty rozwiązań należy wybrać taką, która najefektywniej będzie pracowała w dostępnych dla inwestora warunkach wietrzności, tzn. tak, aby moc znamionowa uzyskana przy danej prędkości wiatru była skorelowana z występującą średnią prędkością. Należy też dobrać odpowiednią wysokość wieży, by produkcja była najefektywniejsza. Zazwyczaj im większa jest moc turbiny, tym większa średnica rotoru, a także wysokość całkowita elektrowni. Bardzo ważnym parametrem jest minimalna prędkość wiatru, przy której wirnik zaczyna się obracać, czyli tzw. prędkość startowa. Im jest ona mniejsza, tym większa szansa na produkcję energii.

Kierunek: ekoinnowacje

Na przestrzeni ostatnich 30 lat dokonał się ogromny postęp technologiczny (tabela). W ciągu pięciu lat moc turbiny i średnica rotoru podwoiły się, a przewidywana produkcja prawie potroiła. Ekoinnowacyjności elektrowni wiatrowych towarzyszy także idea „repoweringu”, czyli wymiany zużytych małych elektrowni na te najnowszej generacji. W efekcie w miejscu kilku małych,

zużytych, o małej mocy turbin, powstanie jedna, o produkcji takiej samej lub większej od poprzednich kilku łącznie. Dzięki temu oddziaływanie takiej elektrowni na środowisko jest mniejsze niż kilku mniejszych.

Właśnie poprzez oddziaływanie elektrowni wiatrowych na środowisko i ludzi technologia ta ma w Polsce sporo przeciwników, którzy poprzez ograniczony dostęp do popartych naukowymi dowodami informacji, bazując na powielanych mitach, często blokują rozwój tego typu elektrowni. Każda inwestycja budowlana na terenie Polski (w tym także inwestycje w elektrownie wiatrowe) musi być zrealizowana zgodnie z obowiązującymi przepisami. Przed rozpoczęciem prac nad budowaniem elektrowni wiatrowej należy uzyskać konieczne dla danej inwestycji decyzje, koncesje, pozwolenia i uzgodnienia. Jest to proces długoletni, który poprzez nie do końca sprecyzowane prawodawstwo może trwać od kilku do dziesięciu lat.

Hałas

Przy budowie elektrowni wiatrowej muszą być przestrzegane przepisy budowlane. Już w fazie planowania budowy poziom hałasu jest dokładnie badany. Podstawą są techniczne przepisy dotyczące ochrony przed hałasem, określające dopuszczalne normy poziomu hałasu, których nie można przekraczać w obszarach mieszkalnych, mieszanych i przemysłowych. Na ich podstawie wyznacza się odległość do następnego terenu pod zabudowę. By uzyskać decyzję środowiskową, konieczną do uzyskania pozwolenia na budowę, niezbędna jest ekspertyza, potwierdzająca przestrzeganie tych norm.

Nowoczesne turbiny wiatrowe produkują o wiele mniej hałasu od swoich poprzedników z początkowych czasów energii wiatrowej. Posiadają też lepszą izolację akustyczną i akustycznie zoptymalizowane kształty łopat wirnika. W odległości kilkuset metrów od elektrowni wiatrowej nie odnotowano jej akustycznej obecności. Dodatkowo dźwięki z otoczenia – szum drzew i krzewów, ruch uliczny i inne dźwięki dnia codziennego – nakładają się na odgłosy elektrowni wiatrowych.

Efekt migotania cienia

W zależności od warunków pogodowych, kierunku wiatru oraz pozycji słońca turbina wiatrowa może rzucać cień swymi obracającymi się skrzydłami. Przy obliczaniu długości rzutu cienia rozróżnia się teoretycznie możliwe maksymalne działanie turbiny, przy ciągłym słońcu, niekorzystnym kierunku wiatru i kręcącym się wirniku oraz realne działanie turbiny w normalnych dla danego terenu warunkach pogodowych. Rzuty cienia łopat wirnika mogą być dla danej osoby bardzo nieprzyjemne, jeśli przyjmujemy, że będą one ciągle padały na okna jej domu. Ten aspekt jest uregulo-

■ Technologiczny rozwój elektrowni wiatrowych na przestrzeni 30 lat³

Parametry	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010
Moc znamionowa [kW]	30	80	250	600	1 500	3 000	7 500
Średnica rotoru [m]	15	20	30	46	70	90	126
Powierzchnia pracy rotoru [m²]	177	314	707	1662	3 848	6 362	12 469
Wysokość wieży [m]	30	40	50	78	100	105	135
Roczna produkcja [MWh]	35	95	400	1 250	3 500	6 900	Ok. 20 000

wany przepisami. Czas trwania migotania cienia nie może być dłuższy niż 30 minut w ciągu dnia i 30 godzin w ciągu roku (wg niemieckiej ustawy dotyczącej kontroli emisji zanieczyszczeń – Bundes- Immissionsschutzgesetz). W szczególnych przypadkach podczas wydawania pozwolenia udowadnia się poprzez ekspertyzę, że na danym terenie nie występują obciążenia wywołane rzucaniem cienia. Przy przekroczeniu dopuszczalnych norm turbina automatycznie wyłącza się, dzięki wyposażeniu w specjalny czujnik. Poza tym z reguły w obszarze rzutu cienia przez elektrownię wiatrową nie ma budynków mieszkalnych.

W przeciwieństwie do efektu migotania cienia, tzw. efekt dyskoteki – świetlne refleksy na łopatach wirnika – nie odgrywa już w dzisiejszych czasach żadnej roli, ponieważ od dawna łopaty wirnika malowane są matową, a nie odbłaskową farbą.

Ochrona ptaków

Wyniki długoletnich badań nad oddziaływaniem elektrowni wiatrowych na świat ptaków jednoznacznie wskazują, że nie zaobserwowano żadnych masowych kolizji ptaków z wiatrakami ani długotrwałego pogorszenia ich zachowania.

Wielu ornitologów badało występowanie i zachowanie ptaków migrujących, rodzimych i wędrownych w pobliżu elektrowni wiatrowych i nie udowodnili oni żadnego negatywnego oddziaływania pomiędzy nimi. W pojedynczych przypadkach odnotowano nawet wzmogłą aktywność rozrodczą ptaków w pobliżu elektrowni wiatrowych! W przypadku ptaków migrujących w wielu przypadkach stwierdzono efekt bariery, którego jednak nie można oceniać jako zagrożenia.

Niektóre rodzaje ptaków zostały określone jako szczególnie chronione. Najnowsze badania dotyczą zachowania ptaków szponiastych, np. rudych kań, i wypracowywane są środki zapobiegawcze, które zminimalizują ryzyko wypadku.

Mimo wszystko uważa się, że ludzka ingerencja w naturę nieuchronnie prowadzi do naruszenia środowiska. Osiedlenia, ruch uliczny, gospodarka rolna i przemysłowa w coraz większym stopniu zawężają przestrzeń życiową zwierząt. Przez wielkopowierzchniowe szklane budynki, ruch uliczny i wywołane ludzkim działaniem katastrofy naturalne, takie jak wypadek tankowca, giną miliony pta-

ków rocznie. Największa ludzka ingerencja w środowisko nie pozostanie bez znaczenia dla świata ptaków: zmiany klimatu prowadzą do udowodnionych zmian w ich zachowaniu. Według badań Europejskiej Agencji Środowiska (ang. European Environmental Agency – EEA) tereny zamieszkałe przez ptaki i inne zwierzęta przesuwają się w kierunku północnym oraz górzystym.

Oddziaływania wiatraków na przestrzeń życiową i tereny migracji ptaków można uniknąć, a przynajmniej zminimalizować, poprzez staranne ich rozmieszczenie. Przykładowo proces unowocześniania (ang. repowering) daje możliwość modyfikacji mniej odpowiednich lokalizacji. Wkrótce niemal każdemu projektowi będą towarzyszyły badania ornitologiczne.

Zwierzęta dzikie i hodowlane

Zwierzęta hodowlane, np. konie czy krowy, codziennie narażone są na najróżniejsze bodźce. Z reguły bardzo szybko dopasowują się do nowych warunków. Do tej pory nie zaobserwowano żadnych nadzwyczajnych zachowań zwierząt wywołanych funkcjonowaniem elektrowni wiatrowej w pobliżu ich wybiegu, pastwisk czy też stajni.

Dotychczasowe doświadczenie związane z wykorzystaniem energii wiatrowych na terenach leśnych wykazały, iż elektrownia wiatrowa nie ma negatywnego wpływu na otaczający ją las i zamieszkałe w nim zwierzęta. Sarny, lisy i zające nie odbierają wiatraków jako zagrożenia i nie unikają ich. Potwierdziły to ankiety przeprowadzone wśród niemieckich myśliwych. Większym zainteresowaniem badawczym cieszy się wpływ elektrowni wiatrowej na myszy polne. W określonych porach roku zwierzęta aktywne nocą zdają się szukać elektrowni wiatrowych. Przy dużej liczbie wiatraków i przy powszechnych stanach pogody nie stanowią one dla myszy polnych żadnego zagrożenia (według badań Związku Wschodniego Oberrheinu – „BUND östlicher Oberrhein”).

Dyskusyjny jest natomiast wpływ morskich elektrowni wiatrowych „Offshore” na ssaki morskie, takie jak delfiny czy morświny. Właśnie budowa takiego parku – wraz z okablowaniem i postawieniem wieży – oceniana jest przez ekologów morskich jako kłopotliwa dla wrażliwych zwierząt. Samo funkcjonowanie elektrowni morskich przysparza im mniej problemów.

Poprzez wykluczenie rybołówstwa z obszaru elektrowni można stworzyć rezerwaty dla zwierząt. Pomimo niepewnego stanowiska badawczego już podczas wyboru miejsca na park wiatrowy „Offshore” uwzględnia się dotychczasowe wyniki badań tras wędrówek ssaków morskich.

Rozwiązania dla środowiska

Porównując produkcję energii w elektrowniach wiatrowych z tą pochodzącą ze spalania węgla, można stwierdzić, że różnica obciążenia środowiska jest znacznie mniejsza w przypadku technologii wiatrowej. Z kolei energetyka jądrowa nie ma takiego oddziaływania na środowisko i ludzi jak elektrownie wiatrowe, jednak jej dużymi wadami są nadal nierozwiązany problem odpadów radioaktywnych i możliwość awarii, co wiąże się z katastrofalnym w skutkach skażeniem radioaktywnym. Pojedyncze elektrownie wiatrowe są dobrym źródłem energii w miejscach niezurbanizowanych. Właściciele mikroinstalacji mogą stać się prosumentami, czyli przy jednoczesnej produkcji energii na własny użytek jej nadprodukcję mogą odsprzedać po stałej cenie. Z kolei przemysłowe elektrownie wiatrowe przyczyniają się do redukcji emisji gazów cieplarnianych i dwutlenku węgla oraz w znacznym stopniu gwarantują osiągnięcie celu udziału 15% energii z odnawialnych źródeł, liczonego w stosunku do końcowego zużycia energii brutto. Elektrownie wiatrowe łączą takie działania jak wykorzystanie naturalnych, odnawialnych zasobów do produkcji energii, tworzenie i rozwój innowacyjnych technologii oraz zaangażowanie społeczne, przy niskim obciążeniu środowiska naturalnego. Są dobrym połączeniem postępu technologicznego przy jednoczesnej ochronie środowiska naturalnego, a jako ekoinnowacje przyczyniają się do wzrostu gospodarczego nie tylko na rynku globalnym, ale przede wszystkim lokalnie. ■

Monika Maciupa,

Windpower Poland; Wydział Towaroznawstwa, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu

Źródła

1. ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/ecoinnovation/pl.pdf (dostęp: 3.04.2015).
2. www.wind-energie.de/sites/default/files/download/publication/repowering-von-windenergieanlagen/repoweringbroschuere_2012_web.pdf (dostęp: 3.04.2015).
3. www.wind-energie.de/themen/technik-anlagen (dostęp: 3.04.2015).

Kwaśny jak... deszcz

Spalanie zasilanych paliw – węgla, ropy naftowej, benzyny czy też oleju napędowego – przyczynia się do występowania kwaśnych deszczów. Są jednak innowacyjne metody pozwalające na zminimalizowanie tego niekorzystnego zjawiska.

■ Prowadzone systematycznie pomiary kwasowości (odczynu) opadu atmosferycznego wskazują, że w ciągu ostatnich 200 lat we wschodnich regionach USA i zachodniej Europie uległa ona istotnej zmianie. Początkowo mokry opad wykazywał właściwości prawie obojętnego wodnego roztworu – obecnie jego kwasowość odpowiada rozcieńczonej mieszaninie zawierającej głównie kwas siarkowy(VI) i kwas azotowy(V) o wartości wskaźnika kwasowości pH mieszczącej się w granicach 4-4,6. Badania składu chemicznego rdzeni lodowych pobranych z terenu Grenlandii wskazują, że ok. 180 lat temu wartość wskaźnika pH opadu odpowiadała zakresowi 6-7,7, a zatem w okresie „przed-industrialnym” był on ok. 100-krotnie mniej kwaśny niż obecnie.

Zjawisko kwaśnego opadu atmosferycznego nie jest niczym nowym – po raz pierwszy zostało opisane przez R. Boyle’a już w 1692 r. W literaturze naukowej pojęcie „kwaśny deszcz” zostało użyte po raz pierwszy w Niemczech (niem. sauer Regen) w 1842 r. przez J.C. Poggendorfa, zaś w Szkocji (ang. acid rain) w 1852 r. przez R.A. Smitha. Z tego okresu pochodzą także pierwsze działania administracyjne (1850 r.) i legislacyjne (1864 r.) mające na celu ograniczenie tego negatywnego zjawiska.

Miara kwasowości

Wspomniany wskaźnik, zgodnie z normą przyjętą przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną (ang. International Organization for Standardization – ISO) i Międzynarodową Unię Chemii Czystej i Stosowanej (ang. International Union of Pure and Applied Chemistry – IUPAC), stanowi miarę kwasowości. Jest ona definiowana jako wielkość bezwymiarowa odpowiadająca ujemnemu logarytmowi dziesiętnemu ($\log_{10}$) stężenia jonów wodoru $[H^+]$, a dokładniej jonów hydroniowych $[H_3O^+]$, którą zazwyczaj wyznacza się na drodze potencjometrycznej (wzór 1).

$$pH = -\log_{10} [H^+] ([H_3O^+]) \quad (\text{wzór 1})$$

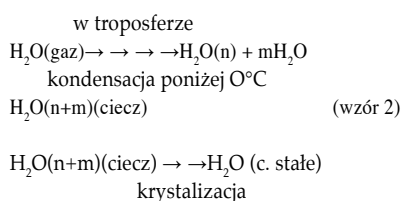
Zmiana wartości tego wskaźnika o 1 odpowiada 10-krotnej zmianie, zaś o 2 – stukrotnej zmianie itd. stężenia jonów wodoru $[H^+]$.

W warunkach naturalnych, tj. niezanieczyszczonej atmosfery, kwasowość (odczyn) opadu atmosferycznego określona jest

przez stężenie naturalnie występującego w powietrzu atmosferycznym dwutlenku węgla (CO_2), zaliczanego do składników śladowych (tj. występujących w ilości poniżej 1% obj.) atmosfery. Jest to dominujący ilościowo w atmosferze ziemskiej czynnik o charakterze kwasowym, którego stężenie nieustannie rośnie. Pierwsze pomiary przeprowadzone w 1880 r. wykazywały wartość 275 ppm (ang. part per milion), obecnie jest to 400 ppm. Oznacza to, że na każdy milion cząsteczek składających się na powietrze atmosferyczne 400 to cząsteczki CO_2 .

Kondensacja i krystalizacja

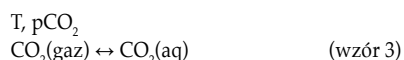
Śladowym składnikiem atmosfery jest również para wodna H_2O (gaz), której występowanie ogranicza się w zasadzie do jej dolnej warstwy, sięgającej 10 tys. n.p.m. (troposfery). Spadek temperatury poniżej granicy odpowiadającej stanowi nasyceń parą wodną sprawia, że pewna jej ilość przechodzi w stan ciekły H_2O (aq) i tworzy kropelki o zróżnicowanym rozmiarze ich średnic, co określa się mianem kondensacji. Ponadto tworzą się rozmaite formy kryształków lodu w wyniku przebiegu procesu krystalizacji. Schematycznie można to przedstawić w następujący sposób (wzór 2):



Produkty procesów kondensacji i krystalizacji pary wodnej występującej w atmosferze nazywamy opadem atmosferycznym. W przyrodzie spotyka się rozmaite jego postaci – mgła, deszcz, śnieg z deszczem, śnieg, grad, słupki lodowe itp. Określone są one przez stan pogody, na który składają się temperatura, ciśnienie atmosferyczne, stopień nasycenia powietrza parą wodną, szerokość geograficzna i pora roku. Dowolna postać opadu atmosferycznego, opadając pod wpływem działania sił grawitacyjnego przyciągania na powierzchnię Ziemi, wymywa (ang. rain out) lub wypłukuje (ang. wash out) obecne w niej składniki (gazowe, ciekłe i zawieszone cząstki materii, określane mianem aerozoli atmosferycznych).

Oszacowano, że 1 dm^3 wody, opadając na powierzchnię Ziemi, oplukuje $3,26 \cdot 10^5$ dm^3 powietrza atmosferycznego, wypłukując i/lub wymywając występujące w nim składniki stałe, ciekłe i gazowe, pochodzące ze źródeł zarówno naturalnych, jak i antropogenicznych.

W warunkach naturalnych, czyli niezanieczyszczonej atmosfery, kwasowość opadu atmosferycznego wyznacza głównie stężenie rozpuszczonego w wodzie dwutlenku węgla CO_2 (aq) i pozostającego w danych warunkach temperatury (T) i ciśnienia (pCO_2 – ciśnienie parcjale CO_2 w powietrzu atmosferycznym) w stanie równowagi dynamicznej z dwutlenkiem węgla CO_2 (gaz) znajdującym się aktualnie w atmosferze (wzór 3).



Korzystając z matematycznego zapisu prawa Henry’ego, można wyznaczyć ilość dwutlenku węgla (mCO_2), który w określonych warunkach temperatury (T) i ciśnienia parcjale (pCO_2) rozpuści się w wodzie (H_2O) (wzór 4).

$$mCO_2 = kH \cdot pCO_2 \quad (\text{wzór 4})$$

gdzie kH jest współczynnikiem proporcjonalności, zwanym stałą Henry’ego. Wartość kH w przypadku, gdy $T = 298$ K i $pCO_2 = 3040$ hPa (wartość mierzona w 1985 r.), odpowiada $3,4 \cdot 10^{-2}$ mol/ dm^3 /atm. Wyznaczone z powyższej zależności stężenie rozpuszczonego w wodzie CO_2 wynosi $1 \cdot 10^{-3}$ mol/ dm^3 , co jest równoważne 0,44 ppm. Z kolei wyznaczone stężenie CO_2 pozwala na obliczenie wartości wskaźnika kwasowości roztworu pH, która wynosi 5,65. Opad atmosferyczny, którego wartość pH jest niższa od 5,65, umownie przyjęto określać mianem kwaśnego opadu atmosferycznego. Dominującą postacią opadu atmosferycznego jest deszcz i stąd też potocznie przyjęto określać ją mianem „kwaśnego deszczu”.

Skład chemiczny opadu atmosferycznego określony jest przez cały szereg czynników natury chemicznej, fizycznej, geologicznej, geograficznej, a nawet biologicznej. Jakość i ilość składników pochodzenia mineralnego [H_2SO_4 , H_2SO_3 , HNO_3 , HCl , HF , H_3PO_4 , $(COOH)_2$, $(NH_4)_2SO_4$, NH_4NO_3] i organicznego (NH_3 , LZO – lotne związki organiczne) występujących w opadzie atmosferycznym pozwala na określanie stanu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego.

Źródła zanieczyszczeń

Źródłem kwasowości opadu atmosferycznego są głównie uwalniane do powietrza atmosferycznego zanieczyszczenia gazowe o charakterze kwasowym, takie jak tlenki siarki (SO_2 i SO_3) oraz tlenki azotu (NO i NO_2), sygnowane odpowiednio jako SO_x i NO_x . Tlenki te podlegają w atmosferze złożonym procesom fizycznym i chemicznym.

nym, których produktami finalnymi są cząstki materii oznaczane skrótem PM (ang. particulate matter) i określane mianem aerozoli chemicznych. Wśród nich dominują cząstki siarczanu (VI) amonu i azotanu (V) amonu. Oszacowano, że antropogeniczna emisja wspomnianych zanieczyszczeń jest wynikiem spalania zasiarzonego węgla, który ponadto zawiera w swoim składzie azot (N) i rozmaite składniki mineralne (70%), realizacji procesów pozyskiwania metali kolorowych, których głównym źródłem są rudy siarczkowe (21%), realizacji procesów petrochemicznych, a także spalania ropy naftowej, benzyny i oleju napędowego.

Zagadnienie kwaśnego opadu atmosferycznego jest jednym z istotnych problemów ekologicznych, będących źródłem ogromnych strat materialnych i zagrożeń dla żywych organizmów. Jednym ze skutecznych sposobów zmniejszania kwasowości opadu atmosferycznego, a tym samym zakwaszania biosfery, są działania prowadzące do zmniejszenia wielkości emisji czynników o charakterze kwasowym, uwalnianych do atmosfery. W porównaniu z 1984 r. obserwuje się istotną redukcję wielkości ich emisji, jednak konieczne są dalsze, solidarne i konsekwentnie realizowane działania wszystkich krajów. Ostatnie z wymienionych zaleceń wynika z faktu, że w kierunku dominującej cyrkulacji mas powietrza występujące w nim zanieczyszczenia są transgranicznie przenoszone i niekiedy osadzają się daleko od miejsca źródła ich emisji.

W Europie zjawisko występowania kwaśnego opadu atmosferycznego jest szczególnie niebezpieczne, gdyż większość zanieczyszczeń o charakterze kwasowym, takich jak tlenki siarki (SO_x), tlenki azotu (NO_x) oraz pyły (PM), są pochodzenia antropogenicznego.

Wiadomo, że głównymi źródłami antropogenicznych tlenków azotu (NO_x) i gazowych związków siarki (S) są elektrownie i ciepłownie. Możliwe są cztery rozwiązania prowadzące do zmniejszenia wielkości emisji tych połączeń, które obejmują: efektywniejsze zużywanie energii, wytwarzanie jej w procesach, które nie wymagają spalania materii organicznej, ograniczenie ilości uwalnianych do atmosfery czynników o charakterze kwasowym, a także usuwanie generowanych w trakcie spalania gazów bezpośrednio po ich powstaniu. Wszystkie z tych rozwiązań są możliwe do zrealizowania.

Sposób na siarkę

Naturalnymi źródłami połączeń siarki, występujących w atmosferze, są procesy biologiczne przebiegające zarówno na lądzie, jak i w środowisku wodnym [H_2S , $(\text{CH}_3)_2\text{S}$, $(\text{CH}_3)_2\text{S}_2$], sól morską [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$], wulkany (SO_2) i inne. Znaczne ilości SO_2 są uwalniane do atmosfery w wyniku spalania węgla, który w swoim składzie zawiera średnio 1% wag. siarki. Spotyka się też pokłady (np. Siersza), w których węgiel zawiera siarkę (S)

w granicach 2-4% wag. Przyjawszy za kryterium pochodzenie siarki (S) występującej w węglu, wyróżniamy dwa jej rodzaje:

1) organiczną, stanowiącą 40% wag. S, obejmującą siarkę:

- tioeterową, R-S-R', gdzie R, R' oznacza rodnik alkilowy (CH_3 , C_2H_5 itd.),

- tiofenową, R-S, gdzie R oznacza rodnik alkilowy (CH_3 , C_2H_5 itd.);

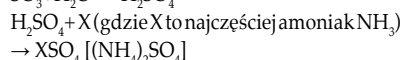
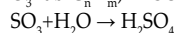
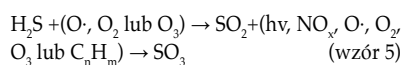
2) nieorganiczną, której udział sięga 60% wag. S w postaci:

- elementarnej (S),

- siarczanów(VI) (SO_4^{2-}),

- pirytów (FeS i FeS_2).

Wszystkie uwalniane do atmosfery produkty powstające w wyniku spalania węgla, zawierające siarkę (S) oraz powstający naturalnie w wyniku rozkładu biomasy siarczek wodoru (H_2S), podlegają w atmosferze konwersji w wyniku oddziaływania rozmaitych czynników fizycznych i chemicznych, której finalnym produktem jest kwas siarkowy (VI) lub jego sole o kwasowym odczynie (wzór 5).



Ani siarki organicznej (S_{org}), ani siarki elementarnej (S) nie można usunąć z węgla bez uprzedniego zniszczenia jego polimerycznej struktury. Możliwość taka istnieje jedynie w przypadku, gdy węgiel zostanie poddany procesowi katalitycznego upłyniania. W przypadku siarki nieorganicznej (S_{nieorg}) możliwe jest jej usunięcie w 40-90% na drodze:

1) fizycznej, poprzez zastosowanie metody:

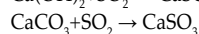
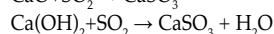
- grawitacyjnego wzbogacania (flotacji), polegającego na poddaniu uprzednio rozdrobnionego węgla procesowi flotacji (zmieszania z odpowiednim surfaktantem),

- magnetycznej, polegającej na mechanicznym oddzieleniu pirytu (FeS_2) wykazującego właściwości ferromagnetyczne za pomocą silnego elektromagnesu,

- aglomeracji olejowej, polegającej na zmieszaniu rozdrobnionego węgla z odpadowym olejem, w wyniku czego cięższy piryt opada na dno zbiornika;

2) biologicznej w wyniku redukcji zawartości siarki (S) za pomocą bakterii siarkowych;

3) chemicznej w wyniku wiązania chemicznego SO_2 za pomocą połączeń wapnia (Ca) (wzór 6).



We wszystkich przypadkach powstaje siarczan(IV) wapnia CaSO_3 , który – składowany na hałdach – ulega utlenieniu, co prowadzi do powstania uwodnionego siarczanu(VI) wapnia, czyli gipsu, znajdującego szerokie zastosowanie w budownictwie.



Odsiarczanie ropy naftowej umożliwiają specjalne metody rafinacji. W każdym przypadku koszt odsiarczania jest wysoki.

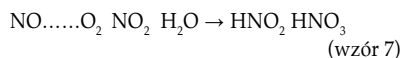
W skład paliw zastępczych wchodzi paliwa o niskiej zawartości siarki (S), takie jak gaz ziemny lub węgiel kopalny o zawartości siarki wynoszącej ok. 1% mas. w miejsce węgla o zawartości 3% mas. Ponadto zastępuje się elektrownie zasilane paliwami kopalnymi przez elektrownie stosujące alternatywne źródła energii, np. słoneczną, wiatrową, wodną lub geotermalną (jakkolwiek ta ostatnia związana jest z uwalnianiem do atmosfery takich związków siarki jak siarczek wodoru – H_2S).

Ograniczyć ilość azotu

Naturalnymi źródłami tlenków azotu (NO_x) występujących w atmosferze są wyładowania elektryczne generujące NO_x w ilości powyżej 80% całkowitej wielkości ich emisji, a także produkty mikrobiologicznej przemiany powstającego w glebie N_2O , który w stratosferze ulega przemianie do N_2 i NO .

Z kolei źródłami antropogenicznymi NO_x mającymi 10-15% udziału w ich całkowitej wielkości emisji, są procesy spalania węgla (40%, z czego 90-95% to NO), środki transportu (50%) i inne (10%).

Węgiel zawiera 1-1,5% wag. N, który występuje jedynie w połączeniach organicznych jako azot pirydynowy ($\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$) oraz pirolowy ($\text{C}_4\text{H}_3\text{N}$). Mechanizm formowania się kwasu azotowego (V) zaprezentowano we wzorze 7.



W przypadku tlenków azotu (NO_x) obserwuje się duże zróżnicowanie poziomu zawartości składników o charakterze kwasowym w zależności od regionu kraju i pory roku.

Wśród licznych metod pozwalających na ograniczenie wielkości emisji NO_x wyróżnia się metody pierwotne i wtórne. Pierwsze, określane również mianem czystych, polegają na kontroli procesu spalania poprzez: zmniejszenie zawartości azotu (N) w paliwie na drodze hydrodenitrogenacji heterocyklicznych połączeń azotu (N) (polegają one na jednoczesnym uwodornieniu pierścieni aromatycznych i heterocyklicznych oraz rozerwaniu występujących w nich wiązań węgiel – azot), właściwy dobór konstrukcji palnika, a także zastosowanie odpowiedniej konstrukcji pieca lub jego modyfikację (spalanie w złożu fluidalnym, kogeneracja). Metody wtórne, zwane oczyszczającymi, polegają z kolei na poddaniu gazów spalinowych stosownej obróbce, co pozwala na obniżenie wielkości emisji NO_x nawet do 90%. W zależności od sposobu jej realizacji wyróżnia się metody suche i mokre. Mokre polegają na:

- utlenianiu gazów spalinowych w fazie gazowej i absorpcji poprzez stosowanie rozmaitego rodzaju sorbentów,
- utlenianiu gazów spalinowych i absorpcji powstałych produktów, a następnie ich redukcji,

- absorpcji, którą można prowadzić w środowisku zasadowym lub kwaśnym.

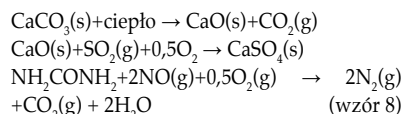
Metody suche obejmują:

- redukcję niekatalityczną,
- redukcję katalityczną polegającą na nieselektywnej redukcji oznaczanej akronimem (NSRK) lub selektywnej redukcji sygnowanej odpowiednio w zależności od rodzaju użytego czynnika redukującego (NH_3 , HC, CO, CH_4) jako (NH_3 -SRK, C_nH_m -SRK, CO-SRK, CH_4 -SRK) oraz rozkład NO prowadzący do powstania cząsteczkowego azotu (N_2). Katalizatorami tego procesu są metale szlachetne z grupy platynowców (Pt, Pd) oraz tlenki metali przejściowych (V, Ti i Mo),
- adsorpcję na zeolitach, węgla aktywnym i anionitach, charakteryzującą się wysoką efektywnością, brakiem problemów ze ściekami i odpadami oraz możliwością regeneracji stosowanego sorbentu.

Dwa w jednym

Istnieją również rozwiązania pozwalające na jednoczesne usuwanie z gazów spalinowych SO_x i NO_x . Jedną z nich jest udoskonalona metoda radiacyjna z użyciem promieniowania jonizującego i akceleratora elektronów, pozwalająca na jednoczesne usuwanie z gazów spalinowych tlenków SO_x i NO_x , w której efektywność usuwania SO_2 sięga 98%, zaś w przypadku NO_x 90%. Na uwagę zasługuje również proces oznaczany akronimem SONOX, polegający na wdmuchiowaniu do pieca wodnej zawie-

siny zawierającej sorbenty wapniowe [zazwyczaj sproszkowany kamień wapienny CaCO_3 , oraz dodatki zawierające azot (N)], którym najczęściej jest mocznik [$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$] w zakresie temperatury 900-1350°C. W gorącej atmosferze pieca zachodzi kilka reakcji (wzór 8).



Rozpylając w piecu wspomnianą zawiesinę wodną za pomocą wysokociśnieniowego rozpylacza (nebulizera), zapewnia się szybkie odparowywanie rozpuszczalnika oraz wydajny „kraking” węgla wapnia i mocznika, uwalniający odpowiednio tlenek wapnia (CaO) oraz reaktywny rodnik ($\text{NH}_2\text{CON-H}$). Efektywność zatrzymywania SO_x i NO_x zależy od rodzaju użytych w charakterze sorbentów substancji, szybkości ich wprowadzania do reaktora, charakterystyki rozpylania, temperatury reaktora i zawartości siarki (S) w węglu. Sorbentem SO_2 jest zazwyczaj wodna zawiesina, składająca się ze sproszkowanego niejednorodnego i porowatego kamienia wapiennego (CaCO_3 – ~90%) i dolomitu [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ – ~10%] lub uwodnionego tlenku wapnia [$\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – ~10%]. Stężenie wymienionych składników w zawieszynie wynosi 40%, zaś relacja Ca:S = (2,5-3):1. W charakterze sorbenta tlenków azotu (NO_x) stosuje się mocznik [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] lub węgiel amonu [$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$], wprowadzany w postaci wodnego roztworu o stechiometrycznym stosunku molowym sorbent: tlenek azotu(II) = (1,7-2,0):1. W warunkach proponowanych przez metodę SO- NO_x efektywność usuwania SO_2 mieści się w granicach 85-95%, zaś w przypadku NO_x sięga 85%.

Strategia postępowania przy podejmowaniu decyzji dotyczącej wyboru odpowiedniego sposobu redukcji wielkości emisji czynników o charakterze kwasowym winna uwzględniać diagnozę problemu, ustalenie celu, zapoznanie się z regulacjami prawnymi, modernizację aktualnie stosowanej technologii, opracowanie nowej lub adaptacji stosowanej technologii, monitoring i raportowanie, strategię ograniczania ilości uwalnianych zanieczyszczeń, a także efektywność ekonomiczną przedsięwzięcia.

Metody odsiarczania paliw, prowadzące do powstania znacznych ilości produktów odpadowych, charakteryzują się zazwyczaj niskimi kosztami. Koszty prowadzonych działań zmierzających do ograniczenia wielkości emisji czynników o charakterze kwasowym oraz związane z usuwaniem powstałych odpadów, zwiększające koszty produkcji, zniechęcają producentów do ich podejmowania. ■

prof. dr hab. Florian Domka,

Wydział Chemii,
Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu

Węglowy odcisk stopy

Jednym ze sposobów na zmierzenie i wyrażenie liczbowo emisji gazów cieplarnianych, powstałych w wyniku działalności przedsiębiorstwa, jest ślad węglowy, zwany także węglowym odciskiem stopy (ang. carbon footprint).

■ Gazy cieplarniane, oznaczane jako GHG (ang. green house gases), przyczyniają się do zintensyfikowania efektu cieplarnianego. Zgodnie z definicją podaną w normie ISO 14064, gaz cieplarniany to każdy gazowy składnik atmosfery ziemskiej, który absorbuje i reemituje promieniowanie podczerwone (IR)¹. Zalicza się do nich parę wodną (H₂O), dwutlenek węgla (CO₂), metan (CH₄) i podtlenek azotu (N₂O), połączenia halogenoorganiczne, głównie freony i halony, związki perfluorowęglowe (PFC) oraz sześćiofluorek siarki (SF₆). Produkcja energii poprzez spalanie paliw i transport to dwa najważniejsze źródła emisji gazów cieplarnianych w Europie². UE stanowczo zobowiązała się do ograniczenia ich emisji do 2020 r. o co najmniej 20% w stosunku do 1990 r. Komisja Europejska zaproponowała wyznaczenie na 2030 r. celu w postaci ograniczenia emisji gazów cieplarnianych w UE o 40% w porównaniu z 1990 r. Parlament Europejski wezwał do obniżenia emisji o przynajmniej 40%³.

Polska należy do czołówki krajów będących największymi emiterami gazów cieplarnianych. W 2008 r. emisja w naszym kraju wyniosła blisko 394 Mt ekwiwalentu CO₂ (bez uwzględnienia bilansu gazów cieplarnianych, związanego z użytkowaniem gruntów, zmianami w ich użytkowaniu i leśnictwem). Plasuje to Polskę wśród krajów UE-27 na szóstym miejscu (po Niemczech, Wielkiej Brytanii, Włoszech, Francji i Hiszpanii) i na pierwszym miejscu wśród krajów UE-12⁴ (rysunek).

Pakiet z klimatem

Konwencja Klimatyczna (UNFCCC) wymaga monitorowania i raportowania emisji gazów cieplarnianych. Mechanizm monitorowania antropogenicznych emisji gazów cieplarnianych i zasady oceny postępu w wypełnianiu zobowiązań dotyczących tych emisji ustanowiła Rada Europy Decyzją nr 93/389/EWG z 24 czerwca 1993 r. w sprawie mechanizmu monitorowania



Depositphotos/grandeduc

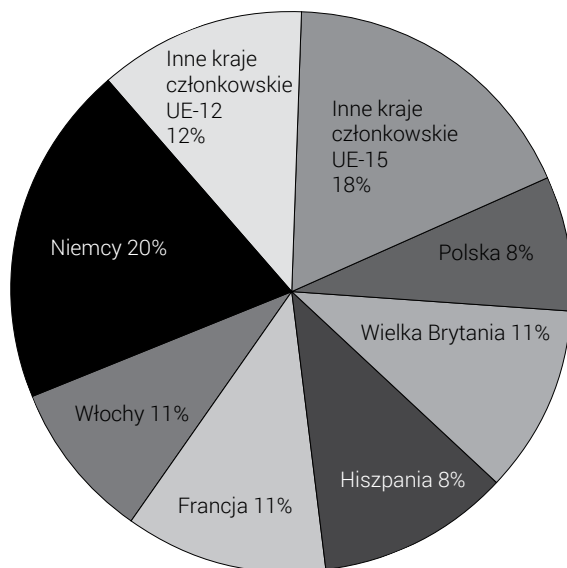
emisji CO₂ i innych gazów cieplarnianych we Wspólnocie. W celu uwzględnienia dokonań na szczeblu międzynarodowym oraz ze względu na przejrzystość została ona zastąpiona Decyzją Parlamentu Europejskiego i Rady nr 280/2004/WE z 11 lutego 2004 r. dotyczącą mechanizmu monitorowania emisji gazów cieplarnianych we Wspólnocie oraz wykonania protokołu z Kioto⁴.

Celem długoterminowym podejmowanych w ramach Konwencji działań jest doprowadzenie do ustabilizowania koncentracji gazów cieplarnianych w atmosferze na poziomie, który zapobiegałby niebezpiecznej antropogenicznej ingerencji w system klimatyczny. Dla uniknięcia zagrożenia produkcji żywności i dla umożliwienia zrównoważonego rozwoju ekonomicznego poziom taki powinien być osiągnięty w okresie wystarczającym do naturalnej adaptacji ekosystemów do zmian klimatu⁵.

Jedną z metod służących do oszacowania obciążenia atmosfery przez emisję gazów cieplarnianych wymienionych w Protokole z Kioto jest określenie śladu węglowego.

Mnogość definicji

Ślad węglowy, zwany też węglowym odciskiem stopy (ang. carbon footprint), jest pojęciem zawierającym się w ekologicznym odcisku stopy. Odcisk ekologiczny to z kolei wskaźnik wyrażający w jednostkach



■ Emisje GHG w krajach UE-27 według głównych krajów emitujących w 2008 r.⁴



powierzchni funkcje ekosystemowe niezbędne do podtrzymania występującej obecnie produkcji i konsumpcji. Odcisk ten to potrzeba zaspokajająca nasz styl życia, która pozwala nam zmierzyć i zrozumieć, jak bardzo korzystamy z zasobów środowiska⁶. Wyznaczamy go poprzez przypisanie różnym kategoriom działalności ludzkiej oraz konsumpcji wielkości powierzchni Ziemi nadającej się do wytworzenia zasobów potrzebnych człowiekowi do zaspokojenia tych typów konsumpcji. Jeśli od odcisku ekologicznego odejmiemy potencjał produkcyjny, otrzymamy deficyt ekologiczny. Potencjał produkcyjny dla naszej planety wynosi 1,8 ha/os., a deficyt ekologiczny Ziemi 0,4 ha/os. Wynika z tego, że aby utrzymać nasz obecny standard życia, potrzebujemy 1,2 takiej planety jak Ziemia⁶.

Szczególnym przypadkiem odcisku ekologicznego jest węglowy odcisk stopy, który dotyczy tego, jaki ślad człowiek pozostawia po sobie w przyrodzie, biorąc pod uwagę ilość dwutlenku węgla i innych gazów cieplarnianych uwalnianych do atmosfery przez jego działalność. Dzięki tej jednostce można realnie określać działania dotyczące zmniejszania emisji gazów cieplarnianych i zapobiegać globalnemu ociepleniu⁵. Węglowy odcisk stopy jest określany przez wiele definicji. Jedną z nich mówi, że jest to metodologia oszacowywania całkowitej emisji GHG (gazów cieplarnianych) w ekwiwalentach węgla z produktów, w trakcie ich całego cyklu życia, od

momentu wytworzenia surowców, poprzez procesy produkcyjne, aż do momentu unieszkodliwiania produktów końcowych (Carbon Trust, 2007)⁷. Inna definicja wskazuje, że jest to taka wielość pojemności biologicznej (ang. biocapacity) zdolnej do sekwestracji poprzez fotosyntezę emisji CO₂ ze spalania paliw kopalnych (Global Footprint Network, 2007)⁸. Z kolei Europejska Platforma LCA (ang. European Platform on LCA) definiuje *carbon footprint* jako całkowitą ilość emisji CO₂ oraz innych gazów cieplarnianych w odniesieniu do produktu, emisji wynikającej z cyklu życia tego produktu, włączając jego składowanie oraz unieszkodliwienie.

UE a CO₂

Na Uniwersytecie Ekonomicznym w Poznaniu przeprowadzono badania, dzięki którym udało się określić wielkość śladu węglowego uczelni oraz zaproponować rozwiązania, które miały na celu doprowadzenie do określenia tej instytucji jako „zeroemisyjnej”⁹. Wielkość emisji dwutlenku węgla oszacowano na podstawie zarówno uzyskanych od administracji uniwersytetu danych, takich jak ilość zużytej energii, gazu ziemnego, oleju opałowego, benzyny i oleju napędowego oraz ilość produkowanych odpadów, jak i badania ankietowego przeprowadzonego wśród pracowników uczelni. Zastosowano kwestionariusz ankietowy, składający się z jedenastu pytań zamkniętych. Został on umieszczony w Internecie na stronie www.webankieta.pl. By udzielić odpowiedzi, należało podać hasło, w które zaopatrzeni byli jedynie pracownicy uczelni. Odpowiedzi na pytania wymagały od respondenta podania szczegółów dotyczących sposobu dojazdów na uczelnię, podróży służbowych i ilości urlopów. Wszyscy zostali poinformowani, do jakich celów służy ankietę, i zapewnieni o jej anonimowości. Kwestionariusz ankietowy wypełniło 186 respondentów, co stanowi 17% ogółu osób zatrudnionych na Uniwersytecie Ekonomicznym w Poznaniu. Na podstawie uzyskanych w badaniu ankietowym danych obliczono średnią ważoną. Pozwoliło to na stworzenie modelowego obrazu przeciętnego pracownika Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, który: pokonuje drogę długości ok. 12 km z miejsca zamieszkania do pracy (uczelni), przyjeżdża do pracy średnio 4,5 razy w tygodniu, wykorzystuje cztery tygodnie urlopu w ciągu roku, dwa razy w roku wyjeżdża w podróż służbową, a w ciągu roku spędza cztery noce w hotelu poza miejscem zamieszkania.

Podróże małe i duże

Jednym z głównych źródeł emisji CO₂ są dojazdy pracowników do pracy. Badanie wykazało, że ponad 60% respondentów mieszka w odległości do 10 km od Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, a blisko 4% dojeżdża do niego ponad 50 km.

Ustalono także, w jaki sposób ten dystans jest pokonywany. Większość ankietowanych (ponad 43%) przyjeżdża do pracy samochodem, ponad 30% tramwajem, 14,5% – autobusem, a niespełna 5% – pociągiem. Część respondentów zadeklarowała jednak korzystanie z bezemisyjnych form transportu – 4,3% spośród nich chodzi pieszo, a 2,1% pokonuje tę drogę rowerem. Ponad połowa pracowników przyjeżdża do pracy pięć razy w tygodniu, a ponad 2% badanych raz w tygodniu. Nie tylko częstotliwość przyjazdów, lecz również sposób dojazdu może mieć wpływ na emisję CO₂ związaną z dojazdami do pracy. Wśród używanych przez pracowników samochodów dominują te z silnikiem benzynowym (70,37%), 24,69% stanowią auta z silnikiem Diesla, a tylko 4,94% jest na LPG. Ponad połowa respondentów posiada pojazdy z silnikiem o pojemności w zakresie 1,4-2,1 litra. Zdecydowana większość – blisko 83% ankietowanych – dojeżdża samochodem sama, ponad 12% zabiera kogoś ze sobą, a blisko 5% respondentów jest zabieranych przez kogoś.

W rachunku emisji CO₂ ważną pozycję stanowią podróże służbowe. Jak wynika z badań, w 2008 r. ponad 37% respondentów w ogóle nie wyjeżdżało w podróż służbową, a prawie tyle samo odbyło od jednej do trzech podróży. Tylko ponad 2% pracowników odbyło powyżej 12 podróży służbowych. Najczęściej wyjeżdżano do Warszawy (blisko 30%) oraz zagranicę (14,5%). Zazwyczaj (blisko 70%) w trakcie podróży służbowych korzystano z pociągu. Z wyjazdami służbowymi często związane są też noclegi w hotelach. Każda noc spędzona w hotelu to pewna emisja gazów cieplarnianych. Badania pokazały, że ponad 42% respondentów nie spało w hotelu, ponad 34% spało 1-5 nocy, a zaledwie 1% powyżej 20 nocy.

Jaka emisja?

Z uzyskanych danych wyliczono, że w 2008 r. każdy pracownik średnio pokonywał drogę ponad 5300 km, w różny sposób. Łączna emisja CO₂ związana z dojazdami pracowników wyniosła: 17 t – dla dojeżdżających autobusem, 89 t – dla poruszających się tramwajem, 14 t – dla podróżujących pociągiem oraz 373 t – dla jadących samochodem, z uwzględnieniem wielkości pojazdu (tę formę zadeklarowało 43,5% respondentów). Łączna emisja CO₂ spowodowana pokonywaniem drogi z miejsca zamieszkania do pracy uczestniczących w badaniu pracowników wyniosła więc 493 ton. Przy obliczaniu emisji CO₂ w wyniku podróży służbowych brano pod uwagę zarówno wyniki ankietę, jak i dane o wyjazdach z uczelnianego Działu Współpracy z Zagranicą. Na ich podstawie określono, że łączna emisja CO₂ związana z podróżami służbowymi wynosi 297,39 t CO₂, z czego emisja CO₂ spowodowana noclegami w hotelu wynosi 80,21 t (jedna noc w hotelu to emisja 30,95 kg CO₂).

■ Tab. 1. Zużycie nośników energii oraz produkcja odpadów na Uniwersytecie Ekonomicznym w Poznaniu wraz z generowaną przez nie emisją dwutlenku węgla w 2008 r.

Źródło	Ilość	Emisja CO ₂ [t]
Energia elektryczna	2965 MWh	1 953,94
Gaz	2 874 954 kWh	531,87
Olej opałowy	63 882 litrów (54,3 Mg)	160,85
Odpady	177 036 kg	97,72

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych administracyjnych UEP oraz www.carbonneutral.com/business-carbon-calculator/index.asp

Na podstawie danych uzyskanych od administracji Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu obliczono także zużycie nośników energii oraz produkcję odpadów w 2008 r., które za pomocą kalkulatora CO₂ zostały przeliczone na wielkość generowanej emisji dwutlenku węgla (tab. 1).

Powyższe dane pokazują, że łączna emisja CO₂ do atmosfery, powstała w wyniku działalności Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, związana z transportem, wykorzystaniem energii oraz wytworzonymi odpadami, wyniosła

sje. Dojeżdżanie środkami komunikacji publicznej znacznie zmniejszyłoby tę emisję. Rozwiązaniem mogłaby być też zamiana auta na mniejszy, bardziej ekologiczny samochód do jazdy po mieście, a także wspólny dojazd do pracy pracowników jednym samochodem. Niezbędne jest też stałe podnoszenie świadomości ekologicznej pracowników.

Dla tych aspektów działalności uczelni, dla której nie można uzyskać całkowitej redukcji emisji CO₂, należy poszukać sposobów na jego neutralizację. Jednym z nich

Korzystając z danych Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych, dotyczących cen sadzonek drzew w 2008 r., obliczono także koszt posadzenia poszczególnych gatunków. I tak – posadzenie sosny, aby zneutralizować emisję dwutlenku węgla uczelni, to koszt 2157 zł (na każdego pracownika wychodzi 1,98 zł) i potrzeba przeznaczenia na to 3,37 ha ziemi. W przypadku świerku to koszt 4135,5 zł (na każdego pracownika 3,79 zł) i 4,14 ha ziemi. Wybierając dąb, należy liczyć się z kosztami 4299 zł (na każdego pracownika 3,94 zł) i obszarem 2,67 ha, a buk – 9607,4 zł (na każdego pracownika 8,81 zł) i potrzeba przeznaczenia na ten cel 5,72 ha ziemi.

Transport oraz zużycie energii to dwa kluczowe obszary, w których jednostki takie jak Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu winny pracować nad zmianami i szukać przyjaznych środowisku rozwiązań, które będą miały również nie mały wpływ na uczelniany budżet. ■

prof. dr hab. Zenon Foltynowicz,

Wydział Towaroznawstwa,
Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu

prof. dr hab. Leszek Wachowski,

Wydział Chemii,
Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu

■ Tab. 2. Liczba drzew wraz z ich ceną i powierzchnią, potrzebna dla neutralizacji emisji dwutlenku węgla wyemitowanego przez Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu w 2008 r.

Gatunek drzewa	Liczba drzew [sadzonki]		Cena [zł]		Powierzchnia [ha]
	całkowita	na jednego pracownika	całkowita	na jednego pracownika	
Sosna	33 711	31	2157,0	1,98	3,37
Świerk	16 542	16	4 135,5	3,79	4,14
Dąb	18 693	18	4299,0	3,94	2,67
Buk	40 031	37	9 607,4	8,81	5,72

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Poznaniu oraz www.aerisfuturo.pl/projekty/kalkulator/metodologia

w 2008 r. prawie 3534 tony, w tym aż 77,6% (2744 tony) pochodziło z emisji powstałej w wyniku zużycia nośników energii i produkcji odpadów.

Neutralizacja emisji

Na podstawie przeprowadzonych badań, które dostarczyły wiedzę na temat emisji dwutlenku węgla związanej z funkcjonowaniem Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, można zastanowić się nad metodami ograniczenia emisji tego gazu cieplarnianego. W związku z wysokim zużyciem energii elektrycznej pochodzącej z elektrowni węglowej (stanowiącej ponad połowę całościowej emisji dwutlenku węgla za 2008 r.) uczelnia mogłaby zainwestować w energetykę odnawialną, np. panele fotowoltaiczne na dachu wszystkich gmachów należących do uczelni. Niemal połowa pracowników UEP dojeżdża do pracy samochodem, a ponad połowa posiada samochód o średniej pojemności silnika – i to też powoduje dużą emi-

jest sadzenie drzew. Wykorzystując dane dotyczące sekwestracji poszczególnych gatunków drzew, można łatwo obliczyć liczbę drzew, jaką uczelnia powinna zasadzić, aby zniwelować emisję dwutlenku węgla i mogła przyjąć miano „zeroemisyjnej”. Wynik zależy od tzw. horyzontu czasowego, czyli czasu, w którym wyemitowany CO₂ ma zostać pochłonięty. Oszacowano, że najwyższy poziom sekwestracji CO₂ w okresie 50 lat jest dla świerku, ale dla okresu 100 lat najwyższy poziom występuje w przypadku buku. Jeśli przyjąć jako ten okres 50 lat, to średnio każde drzewo pochłonie w tym czasie 140,76 kg CO₂, a tych drzew należałoby posadzić aż 25 109 (przy czym należy pamiętać, że jest to odpowiednik emisji tylko za 2008 r.). W przypadku sadzenia buków potrzebne byłoby 40 031 sadzonek, dębów – 18 693, sosen – 33 711, a świerków – 16 542. Jeśliby przeliczyć tę liczbę drzew do zasadzenia na przypadającą na każdego pracownika uczelni, to każdy musiałby zasadzić ok. 37 buków, 18 dębów, 31 sosen albo 16 świerków (tab. 2).

Źródła

1. Norma PN-ISO 14064-1:2006 „Gazy cieplarniane Cz. 1: Specyfikacja i wytyczne kwantyfikowania oraz raportowania emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych na poziomie organizacji”.
2. Wskaźniki dotyczące energii, transportu i środowiska naturalnego. Eurostat. 2013.
3. Rezolucja Parlamentu Europejskiego z 5 lutego 2014 r. w sprawie ram polityki w zakresie klimatu i energii do roku 2030 (2013/2135 (INI).
4. EEA Report. *Greenhouse gas emissions in Europe: a retrospective trend analysis for the period 1990 – 2008*. Publications Office of the European Union. Luksemburg 2011.
5. Decyzja nr 280/2004/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 11 lutego 2004 r. dotycząca mechanizmu monitorowania emisji gazów cieplarnianych we Wspólnocie oraz wykonania Protokołu z Kioto (Dz. Urz. UE, L 49/1 z 19 lutego 2004 r.)
6. Wybieralska K., Wieczorek D.: „Wielka stopa” planety Ziemia. „Problemy Ekologii” 11(2)/2007.
7. www.carbontrust.co.uk (dostęp: 7.04.2015)
8. www.footprintnetwork.org (dostęp: 7.04.2015)
9. Myszkowski H., Foltynowicz Z.: *Węglowy odcisk stopy dla Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu*. [W:] Żuchowski J., Ryszard Zieliński R. (red.): *Ecological aspects of products quality. Ekologiczne aspekty jakości towarów*. Wyd. Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB. Radom 2010.

Branża ICT a ślad węglowy

Największym problemem środowiskowym w branży ICT jest duże zapotrzebowanie na energię elektryczną, co może powodować znaczną emisję gazów cieplarnianych. Z tego względu priorytetem winno być wdrażanie globalnych rozwiązań optymalizujących zużycie energii przez systemy teleinformatyczne.

■ Technologie informacyjno-komunikacyjne (ang. Information and Communication Technologies – ICT) to wszelkie działania związane z produkcją i wykorzystaniem urządzeń telekomunikacyjnych i informatycznych oraz usług im towarzyszących, a także gromadzenie, przetwarzanie i udostępnianie informacji w formie elektronicznej, z wykorzystaniem technik cyfrowych i wszelkich narzędzi komunikacji elektronicznej. W Polsce od 2009 r. rośnie liczba przedsiębiorstw sektora ICT (z 1313 w 2009 r. do 1649 w 2012 r., spośród których 87,3% świadczyło usługi ICT), a także liczba osób w nim pracujących (ze 158 909 w 2009 r. do 177 399 w 2012 r., z czego ponad trzy czwarte stanowiły osoby pracujące w usługach ICT, w tym 60,9% – w usługach informatycznych)².

ICT jest jednym z najbardziej dynamicznie rozwijających się sektorów w Europie i ma wpływ na wzrost gospodarczy w innych dziedzinach³. Udział sektora ICT w całkowitej wartości dodanej biznesu wynosi ok. 8,5%, zatrudnienie stanowi 3% zatrudnienia w sektorze przedsiębiorstw w UE ogółem, a inwestycje poprzez efektywne wykorzystanie technologii informacyjno-komunikacyjnych w przedsiębiorstwach pozwalają zwiększyć ogólną wydajność pracy, przez co stają się bardziej konkurencyjne. W krajach rozwiniętych nakłady finansowe na prace badawczo-rozwojowe (B+R) w branży ICT stanowią 1/3 wszystkich środków na badania. Chociaż Europa wciąż przodkuje w wielu obszarach produkcji przemysłowej i technologii ICT, to nakłady na prace B+R są znacząco niższe niż w innych krajach wysokorozwiniętych⁴. Projekty z branży ICT były umieszczone jako szczegółowy temat na liście priorytetów w siódmym programie ramowym na rzecz badań i rozwoju technologicznego. Głównym założeniem priorytetu ICT było wspomaganie europejskich grup badawczych tworzących nowe, innowacyjne technologie, poprawiające konkurencyjność europejskiej gospodarki, a jednocześnie uwzględniające zasady zrównoważonego rozwoju.

Branża ICT odgrywa istotną rolę w rozwiązywaniu problemów energetycznych i klimatycznych, co zostało podkreślone m.in. w komunikatach i rekomendacjach Komisji Europejskiej (np. w komunikacie z października 2009 r. w sprawie wykorzystania

technologii informacyjno-komunikacyjnych do ułatwienia przejścia na energooszczędną i niskoemisyjną gospodarkę). Komisja Europejska zobowiązała przedsiębiorstwa z branży ICT do opracowania ram pomiaru zużycia energii elektrycznej w branży oraz pomiaru śladu węglowego, co już zostało zrealizowane w kilku projektach.

W UE i na świecie

Ślad węglowy (CF) definiowany jest jako całkowita ilość gazów cieplarnianych wyemitowanych w cyklu życia wyrobu. Jest on także ujmowany jako całkowita suma emisji gazów cieplarnianych wywołanych bezpośrednio lub pośrednio przez dany produkt, organizację lub osobę⁵ i przedstawiany w jednostkach CO₂e (ekwiwalent CO₂), zgodnie z przelicznikami wg IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).

Ślad węglowy branży ICT definiowany jest jako wpływ na środowisko sieci mobilnych i stałych, sieci korporacyjnych, centrów danych oraz każdego sprzętu przyłączonego do sieci, tj. smartfonów, tabletów, komputerów PC i modemów⁶. Związany jest on głównie z zapotrzebowaniem na energię elektryczną, co wynika z konieczności ciągłego utrzymywania urządzeń peryferyjnych, takich jak urządzenia sieciowe, komputery i centra danych. Sektor ICT jest obecnie odpowiedzialny za 8-10% zużycia energii elektrycznej w UE i do 4% emisji dwutlenku węgla⁷. Przewiduje się, że w 2020 r. 14% wytworzonej energii elektrycznej na świecie będzie zużywane przez branżę ICT (~6745 TWh/rok⁸), w szczególności przez centra danych, urządzenia i infrastrukturę telekomunikacyjną oraz komputery personalne wraz z urządzeniami peryferyjnymi (skanery i drukarki)⁹. Obecnie w całkowitym zużyciu energii urządzenia takie jak komputery, centra danych czy urządzenia i sieci telekomunikacyjne mają podobny udział (po ok. 30%)⁸.

Na świecie sektor ICT odpowiada za niecałe 1,5% emisji CO₂e¹⁰, ale przyczynia się do znaczącej redukcji gazów cieplarnianych powstających w innych sektorach gospodarki. Całkowity globalny ślad węglowy branży ICT w 2007 r., wg raportu Ericssona, szacowany był na ok. 620 mln Mg CO₂e, w 2014 r. – ok. 850 mln Mg CO₂e, a przewiduje się,

iż w 2020 r. będzie wynosić ponad 1 mld Mg CO₂e. Wkładem branży ICT w redukcję CO₂ jest umożliwienie m.in. elektronicznego obiegu dokumentów, pracy zdalnej, komunikacji personalnej on-line (e-mail, wideokonferencje), a także tworzenie oprogramowania, m.in. inteligentnych systemów ICT do automatycznych urządzeń pomiarowych (np. temperatury czy oświetlenia) działających na zasadzie algorytmów – w zależności od parametrów urządzenia automatycznie włączanych lub wyłączanych.

W perspektywie do 2020 r. prognozowany jest największy wzrost śladu węglowego w branży ICT w odniesieniu do komputerów i urządzeń oraz centrów danych – około dwukrotny w porównaniu do 2007 r. Ślad węglowy powodowany przez sieci i urządzenia telekomunikacyjne pozostanie natomiast na podobnym poziomie jak w 2007 r.¹¹.

Ślad węglowy dla ICT

Najbardziej powszechną metodą obliczania śladu węglowego jest specyfikacja Publicly Available Specification 2050 (PAS 2050). W 2013 r. Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna opublikowała normę ISO 14067, która zawiera wymagania i wytyczne dotyczące określania ilościowego oraz komunikowania śladu węglowego produktu. Specyficzne dla obliczenia śladu węglowego ICT są:

- ITU-T L.1410 – metodyka oceny wpływu środowiskowego dla produktów teleinformatycznych, sieci i usług,
- ITU-T L.1420 – metodyka oceny wpływu środowiskowego dla stosowania rozwiązań ICT w przedsiębiorstwach,
- ETSI TS 103 199 – ocena cyklu życia dla produktów teleinformatycznych, sieci i usług,
- GHG Protocol Product Standard – ICT-sector Guidance,
- GHG Protocol Corporate.

Podczas pomiaru śladu węglowego w branży ICT ważne jest, aby uwzględnić wszystkie możliwe źródła emisji, które odnoszą się do całej działalności przedsiębiorstwa, w tym do zamówień publicznych, zarządzania, eksploatacji i utylizacji sprzętu ICT, a także do wsparcia i rozwoju działalności działu IT. Obliczając ślad węglowy dla branży ICT (np. danego przedsiębiorstwa), należy uwzględnić m.in. emisje związane z użytkowaniem urządzeń/sprzętu ICT w organizacji (należy wyszczególnić rodzaj urządzeń – komputer stacjonarny, laptop, drukarka, skaner, tablet, telefon, urządzenia działające w centrach danych lub serwerowniach itp. – i uwzględnić zużycie energii na chłodzenie/ogrzewanie), świadczeniem usług informatycznych (i wsparcia) dla użytkowników biznesowych ICT (należy uwzględnić podróże służbowe), a także produkcją, transportem i utylizacją urządzeń ICT (opcjonalnie, dla obliczenia całkowitej emisji).

Do określenia śladu węglowego przedsiębiorstwa z branży ICT konieczny jest też szczegółowy wywiad dotyczący urządzeń (jakiego są typu, ile sztuk, jaki czas pracy,

czy są komputery, na których w pełni wykorzystywane są moce obliczeniowe komputera itp.).

Na przykładzie

Ślad węglowy dla centrum danych może być obliczony albo dla czasu pracy urządzeń, albo dla pełnego cyklu życia. Standardowy model cyklu życia dla centrum danych obejmuje fazę produkcji urządzeń, użytkowanie i utylizację. W modelu tym zawarte są różne parametry wejściowe z poszczególnych urządzeń (serwery, komputery, UPS, akcesoria, środki chłodzące) oraz z systemu jako całości. Uwzględniane parametry dotyczą maksymalnego i średniego obciążenia pracy systemu IT, rodzaju obciążenia, czasu pracy i zużycia energii. Dodatkowo można obliczyć efektywność zużycia energii (ang. Power Usage Effectiveness – PUE) jako iloraz całkowitej energii pobranej przez centrum danych i energii pobranej przez sprzęt IT (obliczeniowy i pomocniczy). W całkowitej energii pobranej przez centrum danych uwzględnić się zapotrzebowanie na energię infrastruktury – oświetlenia i urządzeń chłodzących. Różne źródła podają różny zakres efektywności energetycznej wskaźnika PUE dla centrów danych. Niektórzy autorzy sugerują¹¹, że aby centrum danych było efektywne, wskaźnik ten powinien być w granicach 2-4, a wg innych zaleceń¹² średnia efektywność jest przy PUE = 2; poniżej tej wartości centrum jest efektywne (przy wskaźniku 1,2 – bardzo efektywne), a powyżej nieefektywne (przy wskaźniku 3 – bardzo nieefektywne). Centra danych chłodzone powietrzem mają wskaźnik PUE w granicach 1,7-1,813.

Zapotrzebowanie urządzeń IT na energię elektryczną można obliczyć, znając (lub obliczając) pobór prądu przez urządzenie, uwzględniając współczynnik mocy prądu zmiennego cosinus ϕ . Pobór prądu przez urządzenie IT będzie inny dla obciążenia stabilnego (przeciętnego), a inny dla pełnego, gdzie wykorzystywana jest pełna moc urządzenia:

■ Pobór energii w stanie stabilnym i przy pełnym obciążeniu przez wybrane urządzenia IT¹²

Nazwa urządzenia	Pobór energii przy pełnym obciążeniu przez 1 h [Wh]	Współczynnik	Pobór energii w stanie stabilnym przez 1 h [Wh]
Zestaw komputerowy (stacjonarny) Core i7, Core i3	46,0	0,600	27,6
Zestaw komputerowy (stacjonarny), Core2Quad, Dual Core	82,8	0,778	64,4
Zestaw komputerowy (stacjonarny), Core2Duo	101,2	0,636	64,4
Zestaw komputerowy (stacjonarny), P-IV	119,6	0,538	64,4
Serwer Dell XPS i7	82,8	0,555	46,0
Serwer Dell Xseries 235; Xeon	156,4	0,765	119,6

Pobór energii przy pełnym obciążeniu $= \cos \phi \cdot P_{zn} \cdot t$ (1)

lub

Pobór energii przy stabilnym obciążeniu $= \cos \phi \cdot \text{współczynnik} \cdot P_{zn} \cdot t$ (2)

gdzie: ϕ to kąt przesunięcia fazy, P_{zn} – moc znamionowa urządzenia [W], t – czas [h]. Dla sprzętu IT współczynnik $\cos \phi$ można przyjąć na poziomie 0,8.

W tabeli podano pobór energii przez wybrane urządzenia IT, z uwzględnieniem obciążenia stabilnego (przeciętnego) i pełnego. Określenie „zestaw komputerowy” obejmuje również monitor, klawiaturę i mysz.

Obliczenia zużycia energii przez centra danych, uwzględniając wymagania zasilania w stanie stabilnym i przy pełnym obciążeniu, można rozpatrywać trzytorowo, wliczając: urządzenia obliczeniowe (w tym komputery stacjonarne, stacje robocze, serwery, notebooki i urządzenia przenośne), urządzenia nieobliczeniowe, pomocnicze, akcesoria (drukarki, skanery, ważniejsze urządzenia sieciowe, takie jak switch), a także infrastrukturę: oświetlenie i system chłodzenia¹².

Redukcja energii

Największym problemem środowiskowym (uwzględniającym cykl życia) w branży ICT wydaje się być duże zapotrzebowanie na energię elektryczną, co, zależnie od struktury jej wytwarzania, może powodować znaczną emisję gazów cieplarnianych. Dlatego też priorytetem dla branży ICT powinno być wdrażanie globalnych rozwiązań optymalizujących zużycie energii przez systemy teleinformatyczne. Przedsiębiorstwa z branży ICT, głównie centra danych, dążą do uzyskania jak najniższego parametru PUE, co wiąże się z oszczędnością ekonomiczną, ale również ze zmniejszeniem wpływu na środowisko. Zmniejszenie śladu węglowego w branży ICT można uzyskać również poprzez konsolidację, centralizację i wirtualizację infrastruktury informatycznej, identyfikację, likwidację lub

przeznaczenie do ponownego wykorzystania infrastruktury informatycznej, która nie pełni istotnych funkcji, a także niszczenie zużytego sprzętu komputerowego w firmach posiadających stosowne certyfikaty i zezwolenia. Ponadto na redukcję śladu węglowego może wpłynąć ograniczenie podróży służbowych (zastąpienie kontaktów biznesowych wideokonferencjami i aplikacjami do komunikacji pisemnej) oraz wydłużenie czasu pracy laptopów i telefonów (ich produkcja również ma wpływ na emisję CO₂)⁷.

Dzięki technologiom wytworzonym przez branżę ICT możliwa stała się informatyzacja państwa, społeczeństwa i biznesu. Inwestycje sektora ICT w rozwój nowych wyrobów i usług opartych na cyfrowych technologiach powodują, że poprawia się dobrobyt zarówno ekonomiczny, jak i społeczny. Wykorzystując potencjał gospodarki cyfrowej, można wpływać na jakość środowiska poprzez propagowanie wykorzystania źródeł czystych energii, bazujących na rozwiązaniach informatyczno-telekomunikacyjnych. ■

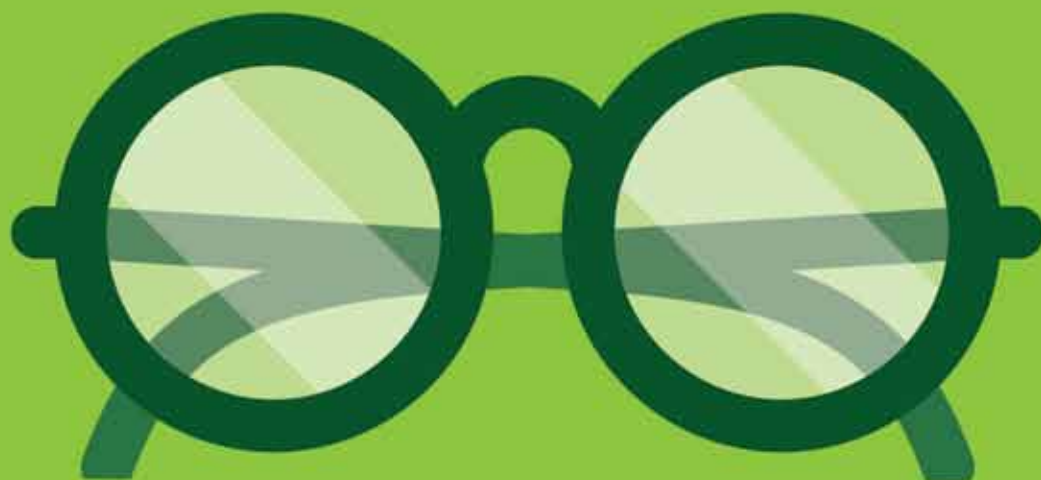
Anna Henclik,

Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków

Źródła

1. www.encyklopediasna.pl/hasla/index/9376 (dostęp 9.04.2015).
2. Główny Urząd Statystyczny. „Społeczeństwo informacyjne w Polsce. Wyniki badań statystycznych z lat 2009-2013”. Warszawa 2013.
3. http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/competitiveness/index_en.htm (dostęp 9.04.2015).
4. www.nauka.pwr.wroc.pl/granty/7pr_broszura.pdf (dostęp 9.04.2015).
5. www.carbontrust.com (dostęp 9.04.2015).
6. Henclik A., Wernicka M.: *Wpływ technologii informatycznych na jakość środowiska*. Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Zarządzanie Przedsiębiorstwem – Teoria i Praktyka”. Kraków 27-28.11.2014.
7. <http://www.theclimategroup.org/what-we-do/news-and-blogs/eu-and-global-tech-sector-measuring-ict-footprint/> (dostęp 9.04.2015).
8. Farrahi Moghaddam F.: *Environmental Footprint Analysis/Management of Data Centers and ICT Solutions, Green Sustainable Telco Cloud (GSTC). Project Annual Workshop*. ETS. Montreal, Quebec (Kanada) 5-6.11.2013.
9. Pickavet M., Vereecken W., Demeyer S., Audenaert P., Vermeulen B., Devellder C., Colle D., Dhoeft B., Demeester P.: *Worldwide energy needs for ICT: the rise of power-aware networking. 2nd International Symposium on Advanced Networks and Telecommunication Systems*. ANTIS. Grudzień 2008.
10. Ericsson energy and carbon report on the impact of the networked Society. Czerwiec 2013, www.ericsson.com/res/docs/2013/ericsson-energy-and-carbon-report.pdf (dostęp 9.04.2015).
11. Ismail M.A.: *Green Computing and Electrical Carbon Footprint. Proceedings of International Conference on Energy and Sustainability – 2013*, www.nedces.com/upload/download/Green%20Computing%20and%20Electrical%20Carbon%20Footprint.pdf (dostęp 9.04.2015).
12. www.42u.com/measurement/pue-dcie.htm (dostęp 9.04.2015).
13. www.chip.pl/artykuly/trendy/2010/04/farmy-serwerow-staja-sie-ekologiczne.

JESTEŚ KREATOREM? ZOSTAŃ EKOINNOWATOREM!



**WYSTAWCOM ORAZ UCZESTNIKOM
DZIĘKUJEMY ZA UDZIAŁ
W SALONIE EKOINNOWACJI,
KTÓRY ODBYŁ SIĘ W RAMACH
MIĘDZYNARODOWYCH TARGÓW OCHRONY ŚRODOWISKA
POLEKO 2014**

Podsumowanie wydarzenia, fotorelacja oraz prezentacje znajdują się na stronie
http://ekoinnowator.ue.poznan.pl/salon_ekoinnowacji_konferencja.php.

Dofinansowano ze środków
Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej



STUDENTKO! STUDENCIE! ABSOLWENTKO! ABSOLWENCIE!

Interesujesz się ekologią i innowacjami? Masz poniżej 35 lat, a w głowie pomysł na ekoinnowacyjny produkt lub usługę, rozwiązanie technologiczne lub organizacyjne? A może jesteś autorem pracy dyplomowej dotyczącej ekoinnowacji?

Jeśli tak, to:

- ZAPROJEKTUJ INNOWACYJNY I PRZYJAZNY ŚRODOWISKU PRODUKT, USŁUGĘ LUB ROZWIĄZANIE I WEŹ UDZIAŁ W KONKURSIE „**OD KREACJI DO EKOINNOWACJI**”
- STWÓRZ FILM PROMUJĄCY EKOINNOWACJE I WYŚLIJ GO NA KONKURS „**EKOINNOWACJE W KADRZE**”
- ZGŁOŚ DO KONKURSU SWOJĄ PRACĘ LICENCJACKĄ, INŻYNIERSKĄ LUB MAGISTERSKĄ POŚWIĘCONĄ EKOINNOWACJOM I WEŹ UDZIAŁ W KONKURSIE „**EKOINNOWACJE NIE TYLKO NA PAPIERZE**”

Do konkursów można zgłaszać się już od **20 czerwca 2014 roku!**

Do wygrania tablety, czytniki e-booków i aparaty fotograficzne!

Pokazy pierwszych prac konkursowych już na Salonie Ekoinnowacji (październik **2014**)

Rozstrzygnięcie konkursów nastąpi podczas Konferencji podsumowującej (wrzesień **2015**)

Konkursy są elementem ogólnopolskiej kampanii informacyjno-edukacyjnej

„JESTEŚ KREATOREM? ZOSTAŃ EKOINNOWATOREM!”

FORMULARZE ZGŁOSZENIOWE DOSTĘPNE NA STRONIE INTERNETOWEJ PROJEKTU W ZAKŁADCE „KONKURSY”



WIĘCEJ INFORMACJI NA STRONIE PROJEKTU ORAZ FB:

ekoinnowator.ue.poznan.pl

facebook.com/Ekoinnowator

KONTAKT:

ekoinnowator@fnc.ue.poznan.pl

tel. +48 785 557 169

tel. +48 785 554 278



Projekt dofinansowano ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

