

Dr inż. Paweł Gładysz,

Wydział Energetyki i Paliw, Akademia Górniczo-Hutnicza

Prof. dr hab. inż. Wojciech Nowak,

Centrum Energetyki, Akademia Górniczo-Hutnicza

Dr Maciej Bukowski,

WiseEuropa - Fundacja Warszawski Instytut Studiów Ekonomicznych i Europejskich
oraz Wydział Nauk Ekonomicznych Uniwersytetu Warszawskiego

Aleksander Śniegocki,

WiseEuropa - Fundacja Warszawski Instytut Studiów Ekonomicznych i Europejskich

Anna Bączyk,

Departament Innowacji i Polityki Przemysłowej w Ministerstwie Rozwoju, Pracy i Technologii oraz Wydział Budownictwa
i Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego

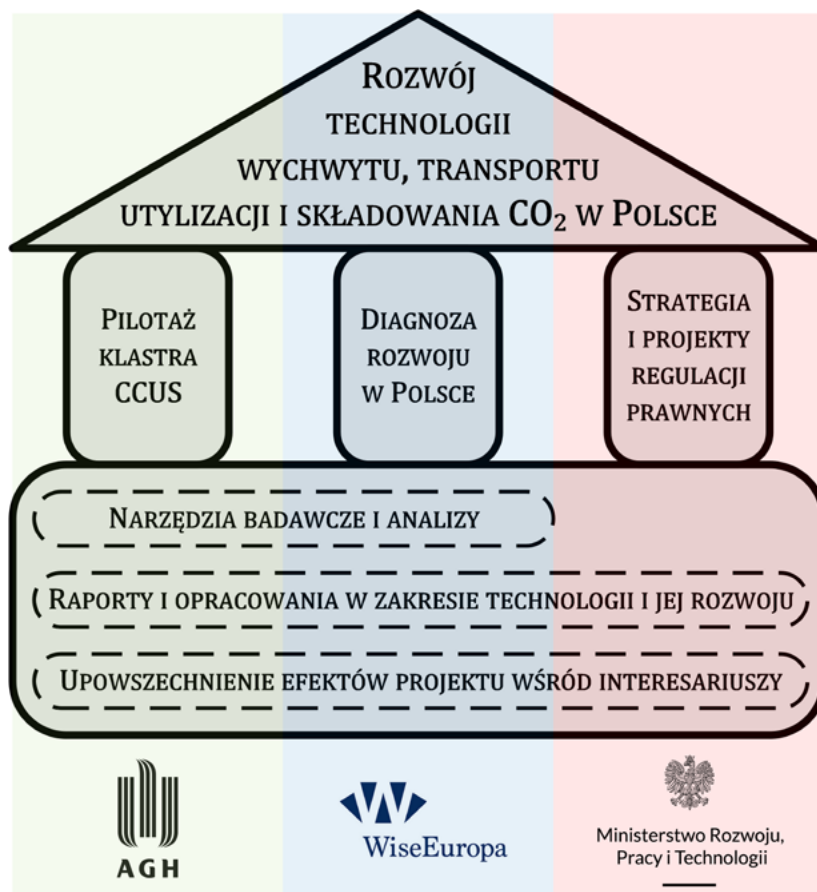
Rola technologii wychwytu, transportu, utylicacji i składowania CO₂ w drodze do osiągnięcia neutralności klimatycznej

Długookresowy cel osiągnięcia neutralności klimatycznej należy do kluczowych elementów globalnej i europejskiej polityki klimatycznej. Jednym z dostępnych rozwiązań w tym zakresie jest wychwyty dwutlenku węgla u źródła emisji lub bezpośrednio usuwanie go z atmosfery, a następnie jego transport i wykorzystanie w gospodarce lub też trwałe składowanie geologiczne. Technologie wychwyty, wykorzystania lub składowania dwutlenku węgla - CCUS (z ang. *Carbon Capture, Utilization and Storage*) są cennym uzupełnieniem innych niskoemisyjnych rozwiązań, pozwalającym zarówno wykorzystać paliwa kopalne w okresie przejściowym - co ułatwić może wykorzystanie istniejących aktywów (np. wysokotemperaturowych sieci ciepłych w miastach), poprawiając efektywność transformacji zarówno z perspektywy ekonomicznej, jak i środowiskowej.



Technologie CCUS są jedną z kluczowych opcji technicznych pozwalających na pogodzenie występowania nieuchronnych emisji procesowych w przemyśle z budową gospodarki neutralnej klimatycznie. W kraju takim jak Polska, dla którego pomyślności ekonomicznej kluczowe znaczenie ma industrializacja, wypracowanie strategii rozwoju technologii CCUS oraz zainicjowanie krajowych energetyczno-przemysłowych klastrów jej rozwoju wydaje się więc być szczególnie ważne.

Jednym z kluczowych elementów porozumienia paryskiego z 2015 r. kształtującego globalne ramy polityki klimatycznej jest dążenie do utrzymania wzrostu średniej temperatury na świecie na poziomie znacznie poniżej 2°C w stosunku do poziomów sprzed epoki przemysłowej oraz kontynuowanie wysiłków na rzecz ograniczenia wzrostu temperatury do 1,5°C w stosunku do poziomów sprzed epoki przemysłowej, co można osiągnąć m.in. przez usunięcie nadmiaru CO₂ z atmosfery. Rozwiązaniem komplementarnym do działań prowadzących do eliminacji emisji gazów cieplarnianych w procesie przetwarzania energii lub wzrostu naturalnego pochłaniania dwutlenku węgla jest jego wychwyt, a następnie transport, wykorzystanie (utyliczacja) lub też trwałe składowanie geologiczne. Technologie CCUS są więc cennym uzupełnieniem innych niskoemisyjnych rozwiązań, pozwalając pogodzić m. in. występowanie nieuchronnych emisji procesowych (np. w przemyśle cementowym) z budową gospodarki neutralnej klimatycznie. Wobec relatywnie słabych bodźców ekonomicznych (np. niskie ceny uprawnień do emisji w UE) i ograniczonego zainteresowania decydentów politycznych, technologie CCUS cieszyły się w ubiegłej dekadzie mniejszym zainteresowaniem niż inne opcje redukcji emisji. Jednak reformy systemu EU ETS zmierzające do zmniejszenia podaży uprawnień do emisji CO₂ oraz wzrostu ich ceny, razem z ograniczeniami technicznymi, ekonomicznymi oraz społecznymi (np. ryzyko



braku akceptowalności społecznej dla bardzo daleko idącej rozbudowy infrastruktury OZE) alternatywnych rozwiązań powodują, że znaczenie CCUS w przyszłości będzie prawdopodobnie rosnąć. Wymagać to będzie określenia roli tej technologii w przyszłej, neutralnej klimatycznie, gospodarce Polski.

Z punktu widzenia łańcucha technologicznego CCUS wyróżnić można kilka kluczowych obszarów, które należy zaadresować przy określaniu roli tych technologii w otoczeniu gospodarczym danego kraju:

- wychwyt CO₂ z instalacji energetyki zawodowej (w tym energetyki gazowej),
- wychwyty CO₂ ze źródeł przemysłowych (w tym huty zintegrowane, cementownie, rafinerie oraz inne punktowe źródła emisji dwutlenku węgla do atmosfery),

- wychwyt CO₂ ze źródeł wykorzystujących bioenergię (BECCUS - z ang. *Bio-Energy CCUS*) w procesach energetycznych i przemysłowych istotnych z punktu widzenia otrzymania tzw. ujemnych emisji dwutlenku węgla,
- bezpośrednie usuwanie CO₂ z atmosfery (DAC - z ang. *Direct Air Capture*) oraz sposoby integracji procesowej (np. ze źródłami przemysłowej energii odpadowej) będącym kolejnym elementem rozwiązań technologicznych umożliwiających osiągnięcie tzw. ujemnych emisji dwutlenku węgla,
- transport CO₂ dla różnej skali oraz odległości (rurociągi, tankowce i cysterny) z uwzględnieniem hubów transportowych, czyli integracji poszczególnych opcji w jeden system do przesyłania dwutlenku węgla do

- miejsc składowania lub utylizacji,
- przemysłowe wykorzystanie CO₂ w gospodarce (np. gospodarka wodorowa, produkcja paliw syntetycznych, wspomagane systemy do wydobycia ropy naftowej lub gazu, mineralizacja),
- składowanie CO₂ na terytorium kraju wraz z uwzględnieniem współpracy transgranicznej z uwzględnieniem hubów sekwestracji dwutlenku węgla, czyli prowadzenia procesu w kilku powiązanych ze sobą geologicznie lokalizacjach.

Najnowsze badania, analizy oraz pierwsze wdrożenia w obszarze rozwoju technologii CCUS wskazują na ich znaczącą rolę dla efektywnej kosztowo ochrony klimatu. Wnioski z tych prac w ujęciu poszczególnych krajów, jak również w kontekście międzynarodowym, wskazują na rosnącą rolę technologii CCUS - szczególnie w obszarze osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 r.

Opracowaniem identyfikującym technologie wychwytu i składowania dwutlenku węgla (CCS - z ang. *Carbon Capture and Storage*), jako jedno z kluczowych rozwiązań dla powstrzymania postępujących zmian klimatu są m. in. raporty Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (IPCC), wskazujące, że w skali globalnej należy osiągnąć wychwyty i sekwestracji od 348 do 1218 Gt CO₂ w 2100 r. Zwracają one również uwagę na technologie wychwytu CO₂ ze źródeł wykorzystujących bioenergie, które z punktu widzenia obiegu węgla w środowisku prowadzą do tzw. ujemnych emisji dwutlenku węgla¹. Także Międzynarodowa Agencja Energii (IEA) w swoim raporcie w zakresie perspektywicznych technologii energetycznych poświęca dużą uwagę technologiom z łańcucha CCUS, wskazując, że mają one do odegrania kluczową, a zarazem wielowymiarową rolę w przestawianiu gospodarki świata na tory niskoemisyjne. IEA podkreśla, że technologie CCUS wraz z technologiami wodorowymi są niezbędne do osiągnięcia całkowitej re-

dukcji emisji z energetyki i przemysłu. Zwraca ona także uwagę na konieczność podjęcia decyzji inwestycyjnych już w nadchodzącej dekadzie, aby zapewnić czas pozwalający na jej adekwatną skalę wdrożenia i wykorzystania w gospodarce². Najnowszy raport IEA³ dotyczący osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 r. wskazuje na szereg zastosowań technologii CCUS w tym procesie, wskazując m. in., że emisji procesowych dwutlenku węgla z przemysłu ciężkiego nie uda się wyeliminować w latach trzydziestych bez zastosowania tej technologii, zwłaszcza, że uzyskanie odpowiedniego budżetu węglowego w przekroju lat 2020-2050 wymagać będzie osiągnięcia ujemnych emisji CO₂ w kolejnych dwóch dekadach. Według scenariusza *Net Zero Emissions*, w 2050 r., połowa wszystkich instalacji wykorzystujących paliwa kopalne powinna być wyposa-

żone technologicznie lub nieoptyczne. Działania te powinny przyczynić się do utrzymania produkcji przemysłowej (głównie energochłonnej) na terenie Unii Europejskiej, dając jej impuls do reindustrializacji w oparciu o przyjazne środowisku technologie. Komisja Europejska podkreśla również, że alternatywą dla technologii składowania CO₂ w formacjach geologicznych może być jego ponowne wykorzystanie do produkcji paliw syntetycznych i materiałów. Technologie wychwytu i utylizacji dwutlenku węgla (CCU - z ang. *Carbon Capture and Use*) mogą znaleźć szerokie zastosowanie w gospodarce i są jednocześnie spójne z polityką wodorową oraz gospodarki obiegu zamkniętego (Circular Economy)⁴. Argumenty te są szczególnie ważne w przypadku Polski. Wobec ograniczonego i stopniowo spadającego potencjału pochłaniania CO₂ przez kra-

” Wobec ograniczonego i stopniowo spadającego potencjału pochłaniania CO₂ przez krajowe lasy, obecności dużych zakładów przemysłu ciężkiego generującego emisje procesowe oraz wyzwań technologicznych, społecznych i gospodarczych związanych z pełnym oparciem systemu energetycznego na źródłach odnawialnych i energetyce jądrowej, technologie CCUS mają istotną rolę do odegrania w transformacji Polski do neutralności klimatycznej

żona w instalacje wychwytu dwutlenku węgla (ok. 30 Gt CO₂ na rok). Będzie to również wymagać rozbudowy infrastruktury do przesyłania i składowania CO₂. Międzynarodowa Agencja Energii zwraca również uwagę na konieczność intensyfikacji działań badawczo-rozwojowych oraz demonstracyjnych poszczególnych elementów łańcucha technologii CCUS, aby sprostać tym wymaganiom.

Śladem IEA idzie także Komisja Europejska podkreślająca znaczącą rolę technologii CCS w neutralnej klimacie gospodarce europejskiej w 2050 r., szczególnie w stosunku do gałęzi przemysłu, gdzie przestawienie na odnawialne źródła energii jest nie-

możliwe technologicznie lub nieoptyczne. Działania te powinny przyczynić się do utrzymania produkcji przemysłowej (głównie energochłonnej) na terenie Unii Europejskiej, dając jej impuls do reindustrializacji w oparciu o przyjazne środowisku technologie. Komisja Europejska podkreśla również, że alternatywą dla technologii składowania CO₂ w formacjach geologicznych może być jego ponowne wykorzystanie do produkcji paliw syntetycznych i materiałów. Technologie wychwytu i utylizacji dwutlenku węgla (CCU - z ang. *Carbon Capture and Use*) mogą znaleźć szerokie zastosowanie w gospodarce i są jednocześnie spójne z polityką wodorową oraz gospodarki obiegu zamkniętego (Circular Economy)⁴. Argumenty te są szczególnie ważne w przypadku Polski. Wobec ograniczonego i stopniowo spadającego potencjału pochłaniania CO₂ przez kra-

kowe lasy, obecności dużych zakładów przemysłu ciężkiego generującego emisje procesowe oraz wyzwań technologicznych, społecznych i gospodarczych związanych z pełnym oparciem systemu energetycznego na źródłach odnawialnych i energetyce jądrowej, technologie CCUS mają istotną rolę do odegrania w transformacji Polski do neutralności klimatycznej. Potwierdzają to publicznie dostępne analizy uwzględniające całą gospodarkę^{5,6}.

Aktualnie rozwój technologii CCS i CCU w Europie skupia się w klastrach technologicznych, do których należą podmioty związane z wszystkimi gałęziami gospodarki. Obejmuje on



działania po stronie samej technologii wychwytu CO₂ z różnych źródeł (nie tylko energetyki, ale również przemysłu energochłonnego), rozbudowy sieci transportowej (obejmujące transport lądowy i morski), rozwoju i demonstracji technologii utylizacji CO₂ oraz komercyjnej demonstracji składowania dwutlenku węgla w pokładach geologicznych (na lądzie oraz pod dnem morskim). Przykładem tego typu działań jest norweski projekt Northern Lights, który obejmuje hub w zakresie transportu i składowania CO₂ (powołany przez Equinor, Shell i Total), jak również zróżnicowane źródła wychwyconego CO₂ (ze spalarni śmieci w Oslo i cementowni w Brevik). Dalsze fazy rozwoju projektu dopuszczają zwiększenie przepustowości infrastruktury transportowej oraz pojemności składowania przy dostarczaniu wychwyconego CO₂ z innych lokalizacji (np. obszarów przemysłowych Niemiec, Belgii, Holandii, czy Francji zlokalizowanych nad Morzem Północnym). Należy również zwrócić uwagę, że projekt Northern Lights znalazł się na liście projektów będących przedmiotem wspólnego zainteresowania (PCI - *Projects of Common Interest*) Unii Europejskiej i może być jednym z stymulatorów odbudowy gospodarki europejskiej po pandemii COVID-19. Oszacowano, że realizacja projektu może doprowadzić do powstania ok. 18 tys. nowych miejsc pracy w okresie przygotowania projektu oraz ok. 1,2 tys. nowych miejsc pracy w fazie eksploatacji przy jednoczesnym ograniczeniu emisji CO₂ o ok. 15 mln ton rocznie⁷. Podobne tendencje można zauważyć również w Wielkiej Brytanii, która należy do grona liderów rozwoju technologii CCUS na świecie. Na poziomie rządowym technologie CCUS zostały zidentyfikowane jako kluczowe do osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 r., w tym w szczególności dla zastosowań w przemyśle oraz w połączeniu z bioenergią. Na lata 20. zaplanowano szereg działań mających na celu przygotowanie do wdrożenia technologii CCUS w skali przemysłowej

na terenie Wielkiej Brytanii. Dotyczą one m. in. zainicjowania klastrów CCS w przemyśle, przegląd dostępnej infrastruktury oraz przygotowanie hubów do transportu oraz składowania CO₂, przygotowania opcji i ram prawnych pozwalających uwzględnić technologie usuwania CO₂ z atmosfery (z wykorzystaniem bioenergii) oraz przygotowania nowych mechanizmów finansowych dla wsparcia klastrów CCUS. Zgodnie z przyjętym planem, pierwszy klaster CCS w Wielkiej Brytanii powinien być uruchomiony nie później niż w 2026 r., a kolejny przed 2030 r. Łącznie powinny one pozwolić na wychwyt nie mniej niż 10 Mt CO₂ rocznie⁸. Również Holandia przyspiesza inwestycje w tym obszarze: w maju 2021 rząd holenderski przyznał wsparcie w wysokości 2 mld euro dla projektu Porthos, który zakłada rozwój klastra CCS obejmującego zakłady przemysłowe w Rotterdamie⁹. Klaster ma powstać do 2024 r., pozwalając na wychwyt 2,5 Mt CO₂ rocznie.

Technologie CCUS przechodzą swój renesans także w Stanach Zjednoczonych, gdzie już wcześniej wykorzystywano CO₂ (często pochodzące ze źródeł naturalnych) do wspomaganego wydobycia ropy naftowej (EOR - z ang. *Enhanced Oil Recovery*). Związane jest to ze zmianą w 2018 r. legislacji podatkowej (Federal 45Q Tax Credit), która wprowadziła zachęty podatkowe dla składowania CO₂, sięgające 50 USD za każdą tonę dwutlenku węgla. Aktualnie w USA wstępnej analizie poddawane jest 20 projektów CCUS (z uwzględnieniem całego spektrum źródeł CO₂), o łącznej wydajności składowania na poziomie prawie 50 mln ton CO₂ na rok. Rola technologii CCUS w USA rośnie i nakierowana jest na wykorzystanie w łańcuchu dostaw zdekarbonizowanego systemu energetyczno-gospodarczego. Tym samym odchodzi się od projektów związanych z modernizacją np. źródeł węglowych wytwarzania energii elektrycznej, a większą uwagę poświęca się nowobudowanym elektrowniom (głównie gazowym), będących źródłem rezerwowym

dla rosnącego udziału odnawialnych źródeł energii. Może to pozwolić na znaczną poprawę efektywności ekonomicznej działań na rzecz zapewnienia stabilnych dostaw energii dla całego systemu elektroenergetycznego. Tym samym wdrożenie technologii CCUS pozwoli osiągnąć radykalne ograniczenie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery z utrzymaniem akceptowalnych dla społeczeństwa cen energii elektrycznej¹⁰.

Pod koniec 2020 r. na świecie w eksploatacji było 26 obiektów wykorzystujących technologię CCUS i sekwestrujących łącznie ok. 40 Mt CO₂ na rok. W budowie są aktualnie kolejne trzy obiekty, trzynastą jest zaawansowanym stanie przygotowań, a dwadzieścia jeden jest na fazie wstępnej¹¹. Znacząca rola technologii CCUS została dostrzeżona przez większość uznanych międzynarodowych organizacji zajmujących się tematyką energetyczną i klimatyczną, a poszczególne wysokorozwinięte państwa na świecie (jak również szereg państw rozwijających się, a nie przytoczonych powyżej), przygotowują się do wdrożenia technologii CCUS. Działania te dotyczą wszystkich obszarów, zaczynając od strony technologicznej, przez ekonomikę poszczególnych projektów oraz ich oddziaływanie na środowisko, po wpływ na otoczenie społeczno-gospodarcze i otoczenie prawne. Stąd też tak ważne jest, aby również Polska była gotowa na adaptację i wykorzystanie technologii CCUS w procesie osiągnięcia neutralności klimatycznej.

Ostatnie opracowania, noszące znamiona strategii dla technologii CCS w Polsce, pochodzą z lat 2009-2011^{12,13}. Oba dokumenty zdezaktualizowały się na skutek zmian technologicznych oraz otoczenia społeczno-gospodarczego, niemniej jednak niektóre wnioski płynące z nich są wciąż trafne, np. w zakresie konieczności opracowania programu komunikacji społecznej, wprowadzania kompleksowych i systematycznych zmian w obowiązującym prawie (tzw. „ustawa CCS”), czy powołaniu Polskiego Klastra CCS.

Odpowiedzią na pojawiające się dzisiaj wyzwania jest projekt badawczy Programu GOSPOSTRATEG III pt. „Strategia rozwoju technologii wychwytu, transportu, utylizacji i składowania CO₂ w Polsce oraz pilotaż Polskiego Klastra CCUS” (akronim CCUS.pl) finansowany ze środków krajowych, których instytucją pośredniczącą jest Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Zaangażowane w realizację projektu Akademia Górniczo-Hutniczej, Ministerstwo Rozwoju, Pracy i Technologii oraz WiseEuropa - Fundacja Warszawski Instytut Studiów Ekonomicznych i Europejskich, podjęły się działań mających na celu przygotowanie strategii rozwoju technologii CCUS w Polsce wraz z projektami adekwatnych regulacji prawnych mających na celu stymulację zrównoważonego rozwoju tych technologii w Polsce. Ponadto w ramach projektu zaplanowane jest powołanie pierwszego polskiego Klastra CCUS, który ma stanowić zaplecze badawczo-doradcze dla dalszego rozwoju tej technologii w kraju. W ramach zaplanowanych prac przewidziano wielowymiarową analizę zasadności zastosowania technologii z łańcucha CCUS w ujęciu energetyczno-przemysłowych klastrów i hubów technologicznych. Prace te mają przynieść odpowiedź na pytanie o rolę i formę zastosowania tych technologii i rozwiązań, z uwagi na brak jednoznacznej strategii Polski w tym obszarze. Adresatami poszczególnych wyników realizacji projektu

CCUS.pl będą wszyscy interesariusze rozwoju technologii CCUS w Polsce. Działania związane z przygotowaniem strategii oraz kompleksowego pilotażu pierwszego polskiego klastra CCUS adresowane są przede wszystkim do potencjalnych inwestorów i operatorów instalacji wychwytu, transportu, utylizacji i składowania dwutlenku węgla z sektora energetycznego i przemysłowego. W dzisiejszych realiach gospodarczych Polski, są to głównie duże przedsiębiorstwa energetyczne (grupy energetyczne), duże przedsiębiorstwa energochłonne (z sektora żelaza i stali, produkcji cementu, przemysłu naftowego i chemicznego), przedsiębiorstwa zajmujące się wydobyciem, magazynowaniem i przesyłaniem paliw gazowych i ciekłym oraz podmioty gospodarcze zainteresowane przemysłowym wykorzystaniem dwutlenku węgla (od przedsiębiorstw rolnych i przetwórstwa rolno-przemysłowego po przemysł paliwowy i chemiczny). Efekty projektu pozwolą im na uzupełnienie swojego zakresu działalności gospodarczej, jak również rozwinięcie w nowych obszarach powiązanych z technologią CCUS (szczególnie w zakresie utylizacji dwutlenku węgla).

Przegląd sytuacji w Europie i na świecie pozwala więc stwierdzić, że po latach stagnacji wywołanej brakiem odpowiednich ram regulacyjnych, zainteresowanie rozwojem technologii CCUS wraca w odpowiedzi na konieczność osiągnięcia przez wysoce uprzemysłowioną gospodarkę coraz bardziej ambitnych

celów redukcji emisji gazów cieplarnianych. W najbliższych latach należy się spodziewać uruchomienia szeregu dużych projektów CCUS w państwach Europy Północno-Zachodniej i tworzenia się podstaw ogólnoeuropejskiego i globalnego rynku tych technologii. Również w Polsce następuje wzrost zainteresowania tym obszarem, także na poziomie rządowej wizji strategicznej dla krajowego rozwoju CCUS.. Stwarza to szansę na włączenie się Polski do tego elementu globalnej transformacji energetyki i przemysłu wyjątkowo wcześnie, co pozwoli na efektywniejsze osiągnięcie celów klimatycznych w kraju oraz budowę pozycji polskich dostawców na europejskim i globalnym rynku niskoemisyjnych technologii. Najbliższe lata przesądzą o tym, czy uda się wykorzystać tę szansę. □

Artykuł przygotowany w ramach projektu „Strategia rozwoju technologii wychwytu, transportu, utylizacji i składowania CO₂ w Polsce oraz pilotaż Polskiego Klastra CCUS” współfinansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu GOSPOSTRATEG III na lata 2021-2023. Nr Umowy GOSPOSTRATEG-III/0034/2020.



Przypisy

1. IPCC, 2018: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.
2. Energy Technology Perspectives 2020, IEA, 2020.
3. Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector, IEA, 2021.
4. European Commission. Powering a climate-neutral economy: An EU Strategy for Energy System Integration. Brussels, 8.7.2020 COM(2020) 299 final.
5. M. Bukowski (red.), Nowe otwarcie. Polska na drodze do zeroemisyjnej gospodarki, WiseEuropa, 2019.
6. Neutralna emisyjnie Polska 2050, McKinsey & Company, 2020.
7. CCS and the EU COVID-19 Recovery Plan. The positive economic impact of a European CCS ecosystem. Northern Lights PCI, May2020.
8. Net Zero. The UK's contribution to stopping global warming. Committee on Climate Change. May 2019.
9. Bart Meijer: Dutch govt grants \$2.4 bln in subsidies to huge coarbon storage project. Reuters, Sustainable Business, May 10, 2021.
10. K. Spokas, F. Graves, K. Mansur: The Emerging Value of CCS for Utilities. The Brattle Group, August 2020.
11. Global Status of CCS 2020. Global CCS Institute, 2021.
12. Agata Hinc (red.): Jak skutecznie wdrożyć CCS w Polsce? Polska Strategia CCS. demosEUROPA, Warszawa, 2011.
13. Polska Konfederacja Pracodawców Prywatnych Lewiatan: Technologia wychwytywania i geologicznego składowania dwutlenku węgla (CCS) sposobem na złagodzenie zmian klimatu. Lewiatan, Warszawa, 2009.

