

Dokument strategiczny w zakresie wychwytu, utylizacji i składowania dwutlenku węgla (CCUS) do roku 2040 z perspektywą do roku 2050

Spis treści

1	Wprowadzenie	3
1.1	Globalna walka ze zmianami klimatu.....	3
1.2	Strategiczne znaczenie technologii CCUS	3
1.3	Rola CCUS w dokumentach strategicznych.....	4
2	CCUS dziś	8
2.1	Łańcuch wartości technologii CCUS	8
2.2	Źródła dwutlenku węgla	11
2.3	Zastosowania technologii CCS w przemyśle i energetyce	13
3	Cele i wskaźniki strategii.....	20
3.1	Wizja budowy polskiego łańcucha wartości CCUS.....	20
3.2	Cele dokumentu strategicznego	21
	Cel 1: Wdrożenie technologii CCS w przemyśle z emisjami procesowymi.....	21
	Cel 2: Wdrożenie technologii CCS w kluczowych sektorach przemysłu.....	23
	Cel 3: Określenie roli technologii CCS w energetyce zawodowej, komunalnej i przemysłowej ...	24
	Cel 4: Wsparcie rozwoju sektora wodorowego.....	27
	Cel 5: Rozwój infrastruktury transportowej w oparciu o rozwiązania hubowe	28
	Cel 6: Bezpieczne magazynowanie dwutlenku węgla	30
	Cel 7: Wykorzystanie technologii CCS do pozyskania ujemnych emisji CO ₂	33
	Cel 8: Gospodarcze wykorzystanie dwutlenku węgla (CCU)	35
	Cel 9: Otoczenie regulacyjne dla pełnego łańcucha technologii CCUS	37
	Działania horyzontalne	37
3.3	Wskaźniki strategii	39
3.4	Wdrażanie strategii.....	40
3.4.1	Działania legislacyjne	40
3.4.2	Działania pozalegislacyjne	42
3.4.3	Wsparcie finansowe	46
3.4.4	Monitoring wdrażania strategii i jej aktualizacja.....	47
	Wykaz skrótów	48
	O projekcie CCUS.pl.....	49

1 Wprowadzenie

1.1 Globalna walka ze zmianami klimatu

Zmiany klimatu są jednym z największych wyzwań stojących przed ludzkością w XXI wieku, a ich powstrzymanie wymaga międzynarodowej współpracy. Przykładami takich działań są między innymi Szczyt Ziemi w Rio de Janeiro w 1992 r., który wyznacza początek globalnych wysiłków zmierzających do spowolnienia zmian klimatu. Następnym kamieniem milowym było przyjęcie przez ONZ Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu oraz uzupełniający ją protokół z Kyoto nakładający na sygnatariuszy wymierne cele redukcji emisji. Najważniejszym jednak obecnie obowiązującym porozumieniem międzynarodowym w dziedzinie polityki klimatycznej jest Porozumienie Paryskie. Porozumienie, podpisane przez 196 państw na świecie, stanowi zobowiązanie do ograniczenia wzrostu średniej temperatury globalnej do poziomu znacznie niższego niż 2 st. Celsjusza powyżej poziomu przedindustrialnego i do podjęcia działań mających na celu ograniczenie wzrostu temperatury do 1,5 st. Celsjusza powyżej poziomu przedindustrialnego. Dla osiągnięcia tego podstawowego celu Porozumienia paryskiego sygnatariusze zobowiązali się również do zapewnienia równowagi pomiędzy emisjami antropogenicznymi (emitowanymi przez człowieka) a usuwaniem tych emisji przez ich pochłaniacze w drugiej połowie XXI wieku (tzw. neutralność klimatyczna).¹ Konieczność ta znalazła odzwierciedlenie również w celach klimatycznych wyznaczonych przez Unię Europejską. Nadrzędnym celem polityki klimatycznej UE jest osiągnięcie do 2050 r. neutralności klimatycznej przez wspólnotę. Drogę do tego celu wyznaczają pośrednie cele redukcji emisji o 55% do 2030 r. (względem 1990 r.) i proponowany na razie cel redukcji o 90% do 2040 r. Rzeczpospolita Polska jako strona Porozumienia Paryskiego oraz państwo członkowskie Unii Europejskiej zaangażowana jest w realizację omówionych celów.

1.2 Strategiczne znaczenie technologii CCUS

Technologie CCUS (z ang. Carbon Capture, Utilisation and Storage) będą musiały odegrać w tym procesie znaczącą rolę. Wskazuje na to m.in. Międzynarodowy Panel ds. Zmian Klimatu (IPCC) jako ważne narzędzie redukcji emisji w przemyśle chemicznym czy cementowym.² Z kolei Międzynarodowa Agencja Energii (MAE) prognozuje nawet, że osiągnięcie emisji na poziomie zerowym netto nie będzie możliwe bez technologii CCUS, a ponadto pozostają one w niektórych sektorach, np. produkcji cementu, jedynym realnym sposobem redukcji emisji.

W stworzonej przez MAE ścieżce dla osiągnięcia zerowych emisji netto do 2050 r. (Net Zero Emissions by 2050 Scenario, NZE) przyjęto założenie konieczności wychwytu 1 286 Mt CO₂ rocznie już w 2030 r. Dla porównania odpowiadałoby to niemal połowie rocznych emisji całej Unii Europejskiej (np. w 2021 r. UE wyemitowała ok. 2 725 Mt CO₂). Jednak według szacunków MAE, nawet przy realizacji wszystkich ogłoszonych projektów instalacji wychwytu dwutlenku węgla, nie będzie możliwy wychwyt na tym

¹ Porozumienie Paryskie, URL: [https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:22016A1019\(01\)&from=bg](https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:22016A1019(01)&from=bg)

² IPCC, AR6 Synthesis Report. Climate Change 2023, URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf, str. 105

poziomie, jeśli nie zostaną przyspieszone inwestycje w technologie CCUS.³ Jednocześnie zgodnie ze scenariuszem Sustainable Development Scenario, na ścieżce do zerowych emisji netto sektora energetycznego do 2070 r., zdaniem MAE instalacje CCUS mogą odpowiadać za skumulowaną redukcję nawet 15% emisji. Wymagałoby to wyposażenia w instalacje CCUS na około 1 100 GW mocy produkcyjnych wytwórczych w ujęciu globalnym, w tym na wszystkich pozostałych operujących wciąż w 2070 r. elektrowniach gazowych i węglowych oraz na znacznej części tych opartych o biomasę. Warto zauważyć, że zgodnie z prognozami technologie CCUS mogą odegrać różną rolę w zależności od sektora, niemniej wskazuje się, że wspomogą one wysiłki redukcyjne przede wszystkim w przemyśle cementowym, produkcji stali i chemicznym. Według MAE instalacje CCUS mogą odpowiadać za redukcję o 61% rocznej emisji w produkcji cementu oraz 31% i 33% odpowiednio w produkcji stali i sektorze chemicznym w horyzoncie do 2070 r.⁴

Strategiczną rolę technologii CCUS dla polskiej gospodarki pokazują również wyniki modelowania przeprowadzonego we współfinansowanym przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju projekcie „Strategia rozwoju technologii wychwytu, transportu, utylizacji i składowania CO₂ w Polsce oraz pilotaż Polskiego Klastra CCUS”. Badanie, szczegółowo opisane w raporcie *Spółeczno-ekonomiczne korzyści wdrożenia CCUS w Polsce*, jasno wskazuje na korzyści dla polskiej gospodarki narodowej związane z wdrożeniem tychże technologii. W pierwszej kolejności wszystkie kluczowe wskaźniki makroekonomiczne (m.in. PKB, zatrudnienie) są wyższe w scenariuszu zakładającym wdrożenie CCUS za sprawą obniżenia emisyjności polskiej gospodarki. To przełoży się na niższe opłaty emisyjne z tytułu EU ETS, a tym samym pozostawi przedsiębiorstwom większą ilość środków na inwestycje realizowane w kraju i zwiększenie produkcji. Jak wskazują wyniki badania, głównymi beneficjentami wdrożenia CCUS będą branże o podstawowym znaczeniu dla gospodarki, tj. produkcja cementu i stali. Wdrożenie CCUS może poprawić sytuację tych sektorów i zatrzymać je w kraju wobec ryzyka ucieczki przemysłu związanej z rosnącymi cenami uprawnień do emisji i wycofaniem do 2034 r. puli darmowych uprawnień do emisji. Warto też zwrócić uwagę, że Polska na tle innych państw członkowskich UE jest znaczącym emitentem. Stąd wdrożenie przez Polskę technologii CCUS i idące za tym obniżenie emisji obniży zarazem popyt na uprawnienia do emisji w systemie EU ETS, a tym samym obniży ich cenę. Tym samym również inni emitenci, w Polsce i UE, dysponować będą większymi środkami na inwestycje.

1.3 Rola CCUS w dokumentach strategicznych

1.3.1.1 Unia Europejska

Rola technologii CCS (z ang. Carbon Capture and Storage) i CCU (Carbon Capture and Utilisation) dla walki ze zmianami klimatu została dostrzeżona bardzo wcześnie i znajduje odzwierciedlenie w unijnych strategiach i aktach prawnych. Już w 2009 r. przyjęto Dyrektywę 2009/31/EC, która od tamtego czasu reguluje w Unii Europejskiej geologiczne magazynowanie dwutlenku węgla. Znaczenie technologii

³ Międzynarodowa Agencja Energii, Carbon capture utilisation and storage. Progress report – September 2022, URL: <https://www.iea.org/reports/carbon-capture-utilisation-and-storage-2>

⁴ Międzynarodowa Agencja Energii, Energy Technology Perspectives 2020. Special report on carbon capture, utilisation and storage. CCUS in clean energy transitions., URL: https://iea.blob.core.windows.net/assets/181b48b4-323f-454d-96fb-0bb1889d96a9/CCUS_in_clean_energy_transitions.pdf

CCUS znalazło też odzwierciedlenie w Dyrektywie 2018/2001 o promowaniu wykorzystania energii z odnawialnych źródeł, w której uwzględniono wsparcie dla paliw syntetycznych produkowanych przy wykorzystaniu wychwyconego uprzednio dwutlenku węgla. Należy wymienić w tym kontekście również Dyrektywę ETS, która zwalnia z obowiązku przedstawienia uprawnień do emisji w przypadku wychwytu i permanentnego składowania dwutlenku węgla.

Ważnym aktem prawnym stanowiącym przez Unię Europejską jest tzw. Taksonomia, zawierająca klasyfikację technologii i aktywów pod kątem ich zgodności z celami klimatycznymi i tym samym możliwościami ich finansowania z funduszy wspólnotowych. W art. 10 ust. 1 lit. e zaklasyfikowano technologie CCU i CCS jako wnoszące istotny wkład w łagodzenie zmian klimatu. W 2022 r. w życie weszły też zapisy Dyrektywy CSRD o raportowaniu ESG dla dużych przedsiębiorstw oraz małych i średnich spółek notowanych na giełdzie. Są one odpowiednio od 2024 i 2026 r. zobligowane do publikowania informacji na temat swojej działalności w kontekście wpływu na środowisko, społeczeństwo i ładu korporacyjnego. Dostępność i zakładana przejrzystość takiego raportowania i oczekiwane przełożenie na zachowania inwestorów mogą zwiększyć atrakcyjność inwestycji w technologie CCS i CCU.

W ostatnich latach Unia Europejska przedstawiła dalsze propozycje rozwoju cyklu wychwytu dwutlenku węgla. Należy wymienić tu przede wszystkim Komunikat COM/2021/800 w sprawie zrównoważonego obiegu węgla. Celem Unii Europejskiej określonym w dokumencie ma być osiągnięcie zdolności do absorpcji 310 Mt CO₂eq przez grunty i biomasę oraz 5 Mt CO₂eq rocznie z instalacji przemysłowych do 2030 r. Pod koniec 2022 r. Komisja Europejska wystosowała również propozycję unijnych certyfikatów usuwania dwutlenku węgla. Celem wniosku Komisji jest stworzenie ram dobrowolnego systemu certyfikacji usuwania dwutlenku węgla zarówno w instalacjach przemysłowych, jak też poprzez biomasę (np. tzw. rolnictwo węglowe).

Najnowszą unijną dyrektywą obejmującą technologie CCS jest Net Zero Industry Act. Jednym z celów dokumentu jest zwiększenie dostępności miejsc składowania i tym samym polepszenie warunków do realizacji projektów w tym zakresie, z racji tego, że brak składowisk zdiagnozowano jako główną przeszkodę rozwoju tego sektora. W dokumencie podsumowano ustalenia 2022 EU CCUS Forum, na którym oszacowano zapotrzebowanie na składowanie dwutlenku węgla na 80 mln ton w 2030 r. i minimum 300 mln ton w 2040 r., a według szacunków Komisji do 2050 r. powinna zostać osiągnięta zdolność do wychwytu 550 mln ton rocznie. Z tego też względu CCS został określony jako strategiczna technologia z perspektywy osiągnięcia zeroemisyjności Unii Europejskiej. W Net Zero Industry Act zawarto cel strategiczny osiągnięcia zdolności zatłaczania 50 mln ton dwutlenku węgla rocznie do 2030 r. Dokument obliuguje też państwa członkowskie do uwzględnienia kroków zmierzających do ułatwienia rozwoju CCS w zaktualizowanych Krajowych Planach na Rzecz Energii i Klimatu. Jednocześnie procedury pozwoleniowe dla tego typu projektów nie powinny przekraczać 18 miesięcy. Dodatkowo w dyrektywie zawarto pozostałe zobowiązania państw członkowskich, takie jak m.in. konieczność określenia możliwych miejsc składowania dwutlenku węgla na swoim terytorium oraz podmiotów prywatnych głównie z sektora *oil&gas* do partycypacji w realizacji celu.

Z kolei w 2023 r. opublikowany został komunikat Industrial Carbon Management, nazywany również nieformalnie „unijną strategią CCUS”. Wyznaczono w niej strategiczny cel osiągnięcia do 2030 r.

zdolności zatłaczania 50 mln ton CO₂ rocznie. Według szacunków Komisji Europejskiej osiągnięcie tego celu musi iść w parze z inwestycjami w infrastrukturę transportową – 12 mld EUR i blisko 7,5 tys. km rurociągów transportowych już do 2030 r. oraz nawet 16 mld EUR i 19 tys. km infrastruktury do roku 2040 r. Polska jako państwo członkowskie Unii Europejskiej oraz polskie podmioty prywatne uczestniczyć będą w realizacji wymienionych celów.

1.3.1.2 Rzeczpospolita Polska

Z tego względu na gruncie krajowym Polska musi wspierać rozwój poszczególnych technologii nisko- i zeroemisyjnych m.in. poprzez przyjmowanie strategii definiujących preferowane kierunki rozwoju, cele i sposoby wsparcia. Jednym z ostatnich przykładów może być przyjęcie w 2021 r. polskiej strategii wodorowej. Niniejszy dokument strategiczny, wspierający sformułowanie docelowej strategii CCUS (dalej: Strategia) jest kolejnym dokumentem proponującym przyjęcie strategicznego podejścia zmierzającego do wdrożenia w Polsce gospodarki neutralnej dla klimatu.

Strategia wpisuje się w założenia kluczowego dla polskiej polityki energetyczno-klimatycznej dokumentu, jakim jest Krajowy Plan na rzecz Energii i Klimatu na lata 2021-2030 (KPEiK). Jego obecna wersja przyjęta została w 2019 r. W Wymiarze 2.5 (Badania naukowe, innowacje, konkurencyjność) punkt b KPEiK wskazano, że inwestycje w infrastrukturę na potrzeby transportu i magazynowania dwutlenku węgla są istotnym obszarem badawczym dla innowacyjnego systemu energetycznego i wpisują się w założenia innego dokumentu strategicznego - Kierunki Rozwoju Innowacji Energetycznych przyjętego w 2019 r. – w zakresie produkcji wodoru, gazów syntetycznych i metanolu. Dodatkowo w sekcji 2.5.c.12 wskazano potencjalne zastosowanie dwutlenku węgla, który połączony z wodorem w metan, mógłby być zatłaczany do sieci gazowniczej. W ramach przedstawionej przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska do konsultacji w 2024 roku aktualizacji Krajowego Planu na Rzecz Energii i Klimatu, zarówno technologie CCS, jak i CCU nie zostały uwzględnione. Zawarta została jednak deklaracja, że Polska przyjmie Strategię technologii wychwyty, transportu, utylizacji i składowania CO₂ w Polsce.

Strategia wpisuje się również w założenia Polityki Energetycznej Polski do roku 2040 (PEP2040) w jej wszystkich trzech filarach tj. Sprawiedliwa Transformacja, Zeroemisyjny System Energetyczny i Dobra Jakość Powietrza. Technologie CCS i CCU zostały wprost wymienione jako istotne narzędzia realizacji projektów strategicznych PEP2040. Projekt strategiczny Nr 1 („Transformacja regionów węglowych”) przewiduje ważną rolę nisko- i zeroemisyjnych technologii węglowych (w tym CCS i CCU) w transformacji regionów najbardziej zależnych od paliw kopalnych oraz przewiduje zawarcie deklaracji inwestycji w nie w umowie społecznej w zakresie funkcjonowania górnictwa. Umowa ta została podpisana w maju 2021 r. W punkcie II.1.b przewiduje ona budowę infrastruktury do transportu wychwyconego dwutlenku węgla do podziemnego magazynu, z kolei w punkcie II.1.c przewidziano budowę i dostosowanie podziemnych magazynów do składowania dwutlenku węgla w górotworze. Rząd RP miał wskazać proponowane lokalizacje inwestycji do połowy 2022 r. a zaplanowana infrastruktura miałaby zostać oddana do użytku w latach 2023-2029. Innym obszarem PEP2040, w którym wskazano na rolę technologii CCS jest „Rola węgla w bilansie mocy”. Technologie CCS zainstalowane w nowoczesnych elektrowniach węglowych (zbudowanych w formie *CCS-ready*) miałyby umożliwić dalsze, częściowe nisko- a nawet zeroemisyjne korzystanie z węgla. Tym samym badania i rozwój tych technologii mają być istotne z punktu widzenia transformacji energetycznej.

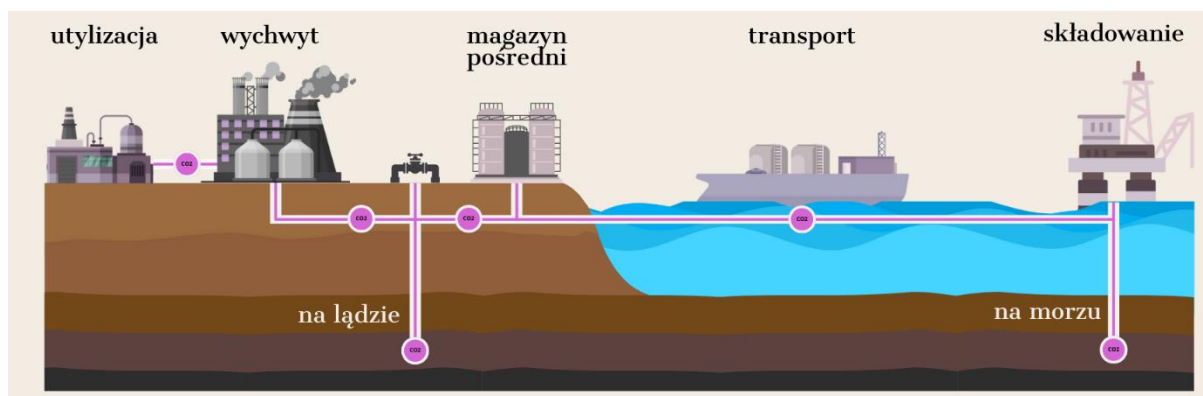
Rola technologii CCS i CCU nie jest jednak przewidziana wyłącznie w dekarbonizacji sektora górniczego. W PEP2040 przewidziano również rolę technologii CCS i CCU w zadaniu „Rozwój elektromobilności i paliw alternatywnych”. Wychwyt dwutlenku węgla z procesu produkcji wodoru poprzez reforming parowy gazu ziemnego mógłby wspierać nisko- i zeroemisyjność tej technologii oraz umożliwić na dłuższe jej wykorzystywanie w drodze do produkcji w całości zielonego wodoru w procesie elektrolizy z wykorzystaniem OZE.

2 CCUS dziś

2.1 Łańcuch wartości technologii CCUS

Łańcuch wartości technologii CCUS dotyczy procesów, które mają na celu wychwycenie dwutlenku węgla ze źródeł punktowych lub z atmosfery, jego transport do miejsca dalszego wykorzystania lub składowania (magazynowania) oraz ostateczne przetworzenie lub bezpieczne zdeponowanie w sposób minimalizujący emisje netto CO₂. Zakres łańcucha procesów wychwytu, transportu, utylizacji i składowania dwutlenku węgla obejmuje technologie:

- **wychwytu CO₂** z energetyki zawodowej oraz źródeł przemysłowych, a także ze źródeł wykorzystujących bioenergię (BECCS – z ang. Bioenergy with CCS) oraz technologie usuwania CO₂ z atmosfery (DACCS – z ang. Direct Air Carbon Capture and Storage); stanowi punkt wyjścia, w którym dwutlenek węgla jest oddzielany od gazów spalinowych lub bezpośrednio z atmosfery. Ten etap definiuje skalę całego łańcucha technologii CCUS od strony podażowej,
- **transportu CO₂** dla różnej skali oraz odległości (rurociągi naziemne i podmorskie, tankowce i cysterny) z uwzględnieniem hubów transportowych, czyli integracji poszczególnych źródeł w jeden system do przesyłu dwutlenku węgla; wymagają on odpowiedniej infrastruktury do bezpiecznego przesyłania do miejsca jego dalszego wykorzystania lub składowania,
- przemysłowego **wykorzystania CO₂** w gospodarce (np. produkcja paliw syntetycznych, wspomagane systemy do wydobywania ropy naftowej, gazu lub produkcji energii elektrycznej i/lub ciepła ze źródeł geotermalnych, mineralizacja); utylizacja CO₂ daje możliwość przekształcenia tego gazu w produkty o wartości dodanej, co może wpłynąć na ograniczenie emisji netto i stworzenie nowych rynków zbytu,
- **składowania (magazynowanie) CO₂** na terytorium kraju wraz z uwzględnieniem współpracy transgranicznej poprzez huby sekwestracji dwutlenku węgla, czyli prowadzenie procesu w kilku powiązanych ze sobą geologicznie lokalizacjach; zapewniają długoterminowe rozwiązanie dla ograniczenia emisji netto dwutlenku węgla, poprzez bezpieczne zdeponowanie go w podziemnych formacjach geologicznych.



Rysunek 1 Łańcuch wartości CCUS [źródło: projekt CCUS.pl]

Technologie CCUS mogą zostać wprowadzone w większości sektorów przemysłowych zarówno jako modernizacja już istniejących i funkcjonującej infrastruktury jak i implementacja do nowych układów. W obszarze wychwytu CO₂ wyróżnia się trzy główne ścieżki:

- separacja dwutlenku węgla po procesie spalania z gazów spalinowych (ang. post-combustion);
- proces tlenowego spalania paliw i separacja dwutlenku węgla z powstałych spalin (ang. oxy-fuel combustion);
- separacja dwutlenku węgla przed procesem spalania poprzez zgazowanie paliwa połączone z wychwytem dwutlenku węgla (ang. pre-combustion)⁵.

Wychwyt CO₂ zachodzi z wykorzystaniem różnych metod. Wśród nich najczęściej wyróżnia się absorpcję chemiczną, fizyczną i adsorpcję, które zaliczane do najbardziej zaawansowanych i najczęściej stosowanych technologii. Inne metody obejmują wychwyt z wykorzystaniem membran czy pętli chemicznych. Wybór odpowiedniej technologii wychwytu CO₂ zależy od wielu czynników, w tym początkowego i pożądanego stężenia CO₂ w strumieniu, ciśnienia i temperatury roboczej, składu i natężenia przepływu strumienia spalin, jak również możliwości integracji z obiektem referencyjnym.

Po wychwyceniu, strumień CO₂ musi być odpowiednio przygotowywany do transportu. W zależności od jego rodzaju, w dedykowanej instalacji, zachodzą procesy doczyszczania i sprężania CO₂, które zapewniają wymagane parametry strumienia, gwarantujące spełnienie wymaganych parametrów z punktu widzenia transportu, składowania i utylizacji CO₂. W przypadku transportu na dużą skalę i duże odległości, strumień CO₂ przesyłany jest głównie poprzez rurociągami lub statkami. Na krótszy dystans i przy mniejszym wolumenie, CO₂ można transportować w cysternach samochodowych lub kolejowych. Ze uwagi na aspekty ekonomiczne i zapewnienie ciągłości łańcucha dostaw najbardziej efektywną metodą jest przesył rurociągami⁶. Najczęściej dwutlenek węgla transportuje się w stanie nadkrytycznym lub ciekłym. W ten sposób, przetransportowany dwutlenek węgla można zatłoczyć do podziemnych składowisk, czyli warstw geologicznych, które stanowią naturalne pułapki uniemożliwiające ucieczkę CO₂. Dostępność infrastruktury transportującej oraz magazynującej CO₂ w sposób bezpieczny jest kluczowym elementem umożliwiającym dalszy rozwój i wdrożenie technologii CCUS.

W przypadku składowania (magazynowania), wyróżnia się trzy główne typy struktur geologicznych odpowiednich do sekwestracji CO₂:

- głębokie poziomy wodonośne solankowe;
- wyeksploatowane całkowicie lub częściowo złoża węglowodorów;
- głębokie, nieeksploatowane pokłady węgla.

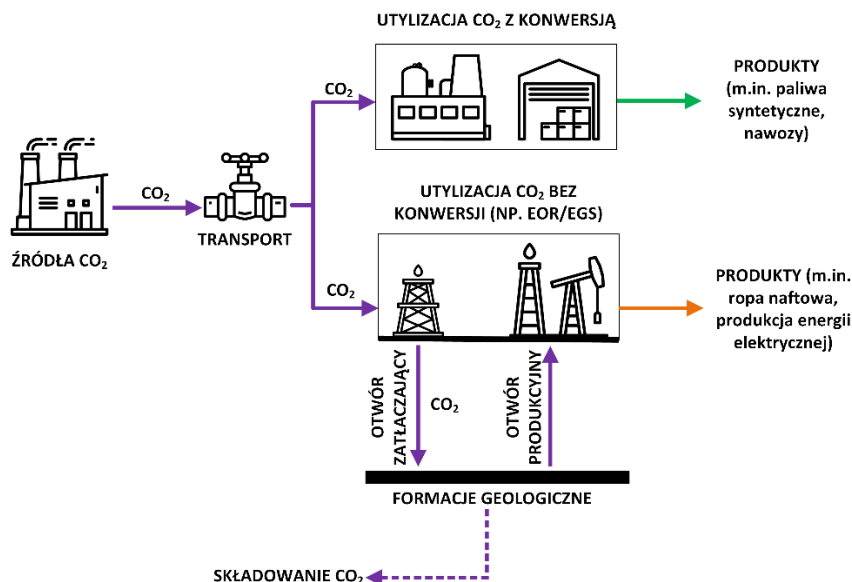
W Polsce największy potencjał do składowania CO₂ mają solankowe warstwy wodonośne, które stanowią około 90-93% całkowitej pojemności. Wyeksploatowane pola naftowe i gazowe oferują

⁵ IPCC, METZ B., DAVIDSON O., DE CONINCK H., LOOS M., MEYER L.: Special report on Carbon dioxide Capture and Storage, Cambridge University Press, UK, 2005

⁶ IEA: Technology Perspectives Energy Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage CCUS in clean energy transitions, 2020

możliwość magazynowania na poziomie około 7-10%, natomiast nieeksploatowane pokłady węgla charakteryzują się potencjałem wynoszącym mniej niż 1%⁷.

Drugą ścieżką jest wykorzystanie wychwyconego CO₂ w celach przemysłowych. Technologie utylizacji można podzielić na układy wykorzystujące CO₂ w sposób bezpośredni oraz systemy bazujące na konwersji CO₂ w procesach chemicznych.



Rysunek 2 Metody utylizacji CO₂ [źródło: projekt CCUS.pl]

Wśród najczęściej wymienianych metod i ścieżek utylizacji dwutlenku węgla znajdują się m.in.:

- produkcja paliw syntetycznych,
- wspomagane systemy wydobywania ropy naftowej i gazu ziemnego (ang. enhanced oil recovery – EOR, enhanced gas recovery – EGR);
- produkcja polimerów;
- uprawa alg;
- mineralizacja CO₂;
- produkcja nawozów (mocznik)⁸.

Cztery podgrupy - chemiczne, biochemiczne, fotochemiczne i elektrochemiczne - można zidentyfikować w kontekście metod obejmujących konwersję CO₂. Technologie te wymagają dodatkowej energii i innych substratów oraz prowadzą do tworzenia surowców chemicznych, a także nośników energii. Co warto podkreślić, wychwycony dwutlenek węgla wykorzystywany do celów

⁷ WÓJCICKI A. i in.: Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z ich programem monitorowania, Raport końcowy. Warszawa, 2013. <https://skladowanie.pgi.gov.pl/> (dostęp 25.10.2024)

⁸ IEA: Putting CO₂ to Use, Creating value from emissions, 2019

przemysłowych w ramach takich systemów jedynie opóźnia emisję dwutlenku węgla do atmosfery o okres uzależniony od rodzaju produktu końcowego.

2.2 Źródła dwutlenku węgla

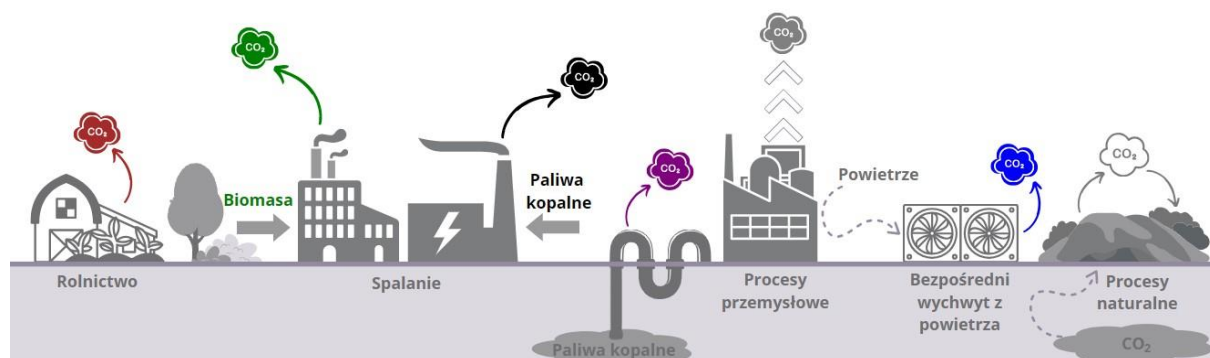
Technologie CCUS wymieniana są przede wszystkim w kontekście bezpośredniej redukcji emisji CO₂ z punktowych źródeł sektora energetycznego i przemysłowego. Emisje CO₂ mogą pochodzić zarówno ze źródeł antropogenicznych, takich jak przemysł, energetyka czy transport, jak i naturalnych, takich jak naturalne procesy zachodzące w ekosystemach. Do źródeł punktowych wymienianych w kontekście CCUS zaliczyć można:

- energetykę zawodową, komunalną i przemysłową;
- źródła przemysłowe, w tym: huty zintegrowane, cementownie, zakłady wapiennicze, rafinerie;
- instalacje wykorzystujących bioenergię w procesach energetycznych i przemysłowych.

Precyzyjna klasyfikacja źródeł emisji umożliwia ich lepsze monitorowanie, raportowanie oraz zarządzanie w ramach międzynarodowych mechanizmów, takich jak system handlu uprawnieniami do emisji (EU ETS). Podział ten pozwala również na lepsze zrozumienie roli poszczególnych sektorów i procesów w generowaniu emisji, co stanowi podstawę do identyfikacji obszarów wymagających dalszych działań związanych z minimalizacją negatywnego wpływu na środowisko m.in. poprzez implementację technologii z łańcucha CCUS.

Podział źródeł emisji CO₂ na różne kolory stanowić może narzędzie do kategoryzowania oraz komunikowania wpływu poszczególnych działań lub źródeł na środowisko, w szczególności w kontekście ich śladu węglowego. W literaturze przedmiotu⁹ sugerowana terminologia pozwala na bardziej precyzyjne opisanie i charakteryzowanie typów węgla (zarówno organicznego, jak i nieorganicznego), jednocześnie uwzględniając ich miejsce w naturalnym obiegu węgla. Poszerza ona tradycyjną klasyfikację źródeł, uwzględniając różnorodne aspekty cyklu węglowego, takie jak jego funkcja, lokalizacja i specyfika. Proponowany system klasyfikacji obejmuje nie tylko źródła emisji CO₂, ale również innych gazów cieplarnianych (GHG), analizując je w kontekście sektorów, procesów i bezpośrednich emisji. Białe emisje związane z procesami naturalnymi występują w zamkniętej pętli, podczas gdy niebieskie i zielone GHG powinny kompensować pozostałe.

⁹ Zinke L. The colours of carbon. Nat Rev Earth Environ 2020;1.



Rysunek 3 Schematyczny podział źródeł emisji gazów cieplarnianych z podziałem na kolory [źródło: projekt CCUS.pl]

Tabela 1 Zestawienie kolorów dla różnych źródeł emisji gazów cieplarnianych

Terminologia	Źródło	Powiązany proces
Czarne GHG	Paliwa kopalne	Spalanie
Szare GHG	Procesy przemysłowe	Rozkład materiałów i reakcje chemiczne (poza spalanie), których produktem jest CO ₂
Brązowe GHG	Rolnictwo	Rozkład materii organicznej, w tym odpadów zwierzęcych, fermentacja, procesy gnilne
Fioletowe GHG	Pośrednie z paliw kopalnych	Wydobycie paliw kopalnych, w tym emisje metanu z pokładów węgla oraz CO ₂ z procesu oczyszczania gazu ziemnego
Niebieskie GHG	Powietrze	Bezpośredni wychwyt CO ₂ z atmosfery
Zielone GHG	Biomasa, biopaliwa	Wytwarzanie bioenergii poprzez procesy spalania
Białe GHG	Naturalne	Procesy naturalne, w tym oceany, tereny podmokłe, uwalnianie wiecznej zmarzliny, pożary lasów, erupcje wulkanów, trzęsienia ziemi (nieantropogeniczne)

2.3 Zastosowania technologii CCS w przemyśle i energetyce

Grupa interesariuszy obejmująca pierwszy element łańcucha wartości, tj. wychwyt emisji dwutlenku węgla, składa się w dużej mierze z podmiotów przemysłowych i elektroenergetyki. To w tych sektorach zidentyfikowany potencjał zastosowania CCUS jest największy.

Niewątpliwie największym beneficjentem zastosowania CCUS w przemyśle może być przemysł cementowy i wapienniczy. Tylko około jednej trzeciej emisji powstałych przy produkcji cementu związanych jest ze spalaniem paliw, a więc dostarczeniem energii cieplnej. Pozostała część, dwie trzecie, to emisje procesowe wynikające z rozpadu surowca, jakim jest węglan wapnia. Tym samym konwersja zasilania cementowni na nisko- lub zeroemisyjne źródła energii pozwoliłaby na redukcję jedynie mniejszej części emisji gazów cieplarnianych. Sektor cementowy w Polsce odpowiada za roczne emisje rzędu 12 mln ton CO₂, co stanowi ponad 6% emisji Polski objętych systemem EU ETS. Tym samym, szczególnie w świetle wycofania do 2034 r. puli darmowych uprawnień EU ETS, jak i braku alternatyw o wystarczającym zaawansowaniu technologicznym i potencjale redukcji emisji, CCS uważany jest za jedyną realną opcję dla sektora cementowego. W Polsce dają się zauważyć pierwsze kroki zmierzające do dekarbonizacji tego sektora w oparciu właśnie o te technologie, czego przykładem jest projekt GO4ECOPLANET obejmujący instalację wychwytu dwutlenku węgla w cementowni Holcim na Kujawach. Projekt ten może pochłonąć nawet 10% emisji sektora cementowego w Polsce. Cementownia Lafarge jest również częścią projektu PCI ECO2CEE (dawniej: Poland-EU CCS Interconnector). Inwestycje w CCS w sektorze cementowym spodziewane są również w innych państwach Europy. Na przykład w Chorwacji, w ramach projektu CO₂NTESSA w cementowni Nexe w Našice planowane jest otwarcie do 2029 r. instalacji oxy-spalania, transport rurociągiem wychwyconego dwutlenku węgla i składowanie go w formacjach solankowych na lądzie. Z kolei realizowany w Bułgarii przez Devnya Cement projekt ANRAV w 2022 r. otrzymał dofinansowanie z unijnego Funduszu Innowacji w wysokości 190 mln EUR. Instalacja miałaby zostać oddana do użytku już w 2028 r. i umożliwić wychwyt nawet 800 tys. ton CO₂ rocznie.¹⁰

Innym przemysłem, w którym wdrożenie CCS może mieć znaczący potencjał redukcji emisji gazów cieplarnianych jest produkcja stali. Roczne emisje tego sektora odpowiadają nawet za 9% globalnych emisji. Główną zaletą wdrożenia technologii wychwytu dwutlenku węgla w przemyśle stalowym jest możliwość instalacji tego typu infrastruktury na używanych obecnie wielkich piecach hutniczych (*retrofitting*) bez konieczności ich wymiany. Głównym wyzwaniem dla technologii CCS w przemyśle stalowym jest wychwyt CO₂ z różnych procesów, w których powstaje w różnej koncentracji. Uznaje się jednak, że wychwyt powinien koncentrować się na gazach wielkopieczowych i zintegrowanych elektrociepłowniach przemysłowych. Ten pierwszy proces odpowiada za około 60% emisji huty stali. Warto też zwrócić uwagę na synergie związane z rozwojem innych sektorów gospodarki niskoemisyjnej. Jedną z alternatyw zmniejszających emisje z produkcji stali jest redukcja rudy żelaza wodorem (DRI, Direct Iron Reduction), której potencjał wzrasta wraz z rozwojem rynku wodoru. Proces ten pozwala na uzyskanie emisji gazów ze stężeniem CO₂ na poziomie nawet 90%, co czyni ich wychwyt

¹⁰ Balkan Green Energy News, Nexe plans CO₂NTESSA project for carbon-neutral cement production, URL: <https://balkangreenenergynews.com/nexe-plans-co%E2%82%82ntessa-project-for-carbon-neutral-cement-production/>

bardziej opłacalnym. Międzynarodowa Agencja Energii prognozuje z kolei, że do 2060 r. konieczny jest wychwyt ponad 500 mln ton dwutlenku węgla pochodzącego z produkcji stali, co oznaczałoby wychwyt nawet 21% emisji globalnych.¹¹ Pierwszym i jedynym na tę chwilę wielkoskalowym projektem CCS w produkcji stali jest instalacja Al Reyadah w Zjednoczonych Emiratach Arabskich. Instalacja wychwytuje nawet 90% emisji dwutlenku węgla (0,8 mln ton CO₂ rocznie) zakładów Emirates Steel, który jest następnie transportowany rurociągiem i wykorzystywany w procesie EOR na złożu węglowodorów *offshore*. Dalszy rozwój CCS w produkcji stali jest badany i kroki w tym celu podejmuje m.in. jeden z największych producentów stali, jakim jest ArcelorMittal. W 2022 r. podpisał on list intencyjny w tej sprawie m.in. z Mitsubishi Heavy Industries.¹²

Według projekcji Międzynarodowej Agencji Energii nawet 38% emisji z produkcji chemicznej do 2060 r. powinno zostać unikniętych przy pomocy technologii CCUS, co czyni z przemysłu chemicznego potencjalnego znacznego beneficjenta rozwoju tychże technologii.¹³ Produkcja w przemyśle chemicznym jest niezwykle zróżnicowana i obejmuje szereg procesów, surowców oraz produktów, stąd trudno jest wskazać wszystkie możliwe zastosowania. Jednak podobnie jak w przypadku produkcji stali, jedną z rozwijanych opcji jest montaż instalacji CCS na jednostce kogeneracyjnej. Przykładowo taka instalacja demonstracyjna została oddana do użytku w 2022 r. w zakładzie produkcyjnym Tata Chemicals w Northwich, gdzie wychwytywane jest około 10% emisji jednostki kogeneracyjnej.¹⁴ Trwają też badania nad studium wykonalności dla większej jednostki zakładów chemicznych Röhm w Niemczech, gdzie wychwytywane mogłoby być nawet 0,5 miliona ton CO₂ rocznie.¹⁵

Wychwytywanie dwutlenku węgla może mieć też swoje zastosowanie w produkcji petrochemicznej. Głównym zastosowaniem CCS w petrochemii może być wychwyt dwutlenku węgla w procesie produkcji gazu syntezowego (syngas) będącego podstawą produkcji m.in. metanolu czy etanolu. Syngas produkowany jest przeważnie w procesie reformingu parowego gazu ziemnego (Steam Methane Reforming, SMR). Głównym wyzwaniem jest relatywnie niskie ciśnienie utrudniające wychwycenie dwutlenku węgla z tego procesu. Dostępne są jednak technologie zaawansowanego reformingu pozwalające na uzyskanie wyższego ciśnienia gazów i zawartości CO₂ na poziomie 95%,

¹¹ Global CCS Institute, CCS: a necessary technology for decarbonising the steel sector, URL: <https://www.globalccsinstitute.com/news-media/insights/ccs-a-necessary-technology-for-decarbonising-the-steel-sector/>

¹² ArcelorMittal, Carbon capture in the steel industry: ArcelorMittal, Mitsubishi Heavy Industries Engineering, BHP and Mitsubishi Development sign collaboration agreement, URL: <https://corporate.arcelormittal.com/media/news-articles/carbon-capture-in-the-steel-industry-arcelormittal-mitsubishi-heavy-industries-engineering-bhp-and-mitsubishi-development-sign-collaboration-agreement>

¹³ Międzynarodowa Agencja Energii, Transforming Industry Through CCUS (2019), URL: https://iea.blob.core.windows.net/assets/0d0b4984-f391-44f9-854f-fda1ebf8d8df/Transforming_Industry_through_CCUS.pdf

¹⁴ Chemistry World, UK's first 'industrial scale' carbon capture plant opens in Cheshire, URL: <https://www.chemistryworld.com/news/uks-first-industrial-scale-carbon-capture-plant-opens-in-cheshire/4015867.article>

¹⁵ Industry & Energy, Aker evaluates construction of two carbon capture plants for Röhm, URL: <https://www.industryandenergy.eu/ccus/aker-evaluates-construction-of-two-carbon-capture-plants-for-rohm/>

co czyni wychwyt czy też późniejsze wykorzystanie (więcej poniżej) bardziej opłacalnym.¹⁶ Na świecie istnieją już komercyjne projekty wychwytu dwutlenku węgla z produkcji petrochemicznej. Jako przykład można podać zakłady Qilu Petrochemicals w Chinach, w których instalacja CCS wychwytuje 1 milion ton dwutlenku węgla rocznie, który transportowany jest następnie na pole naftowe Shengli (EOR).¹⁷ Ogłoszone zostały również liczne listy intencji i plany realizacji dalszych projektów CCS w petrochemii. Przykładowo w Europie prace koncepcyjne nad wykorzystaniem wychwytu dwutlenku węgla prowadzi BASF we współpracy z Air Liquide, z kolei INEOS zaangażowany jest w projekt budowy łańcucha CCUS w Szkocji (Acorn CCS).¹⁸ W Polsce z rozwój CCS w sektorze petrochemicznym zaangażowany jest PKN Orlen, który rozwój tych technologii wpisał do swojej strategii rozwoju spółki.

Możliwość instalacji infrastruktury wychwytu na blokach energetycznych wykorzystujących paliwa kopalne jest rozwijanym na świecie rozwiązaniem, którego wdrożenie planowane było również w Polsce. W 2009 r. spółki grupy PGE rozpoczęły prace mające na celu zbudowanie demonstracyjnej instalacji wychwytu, transportu i składowania dwutlenku węgla w Elektrowni Bełchatów. Instalacja oparta o technologię APP (Advanced Amine Process), odpowiadająca mocy ponad 250 MW i wychwytyjąca ponad 85% emisji, miała zostać zainstalowana na nowym bloku o mocy 858 MW, który miał zostać oddany do użytku w 2011 r. Dodatkowo projekt obejmował budowę rurociągu do podziemnego miejsca składowania w strukturach solankowych.¹⁹ Ostatecznie jednak projekt nie doszedł do skutku. Również spółka Tauron rozwijała od 2013 r. w Elektrowni Łaziska projekt instalacji CCS we współpracy z Instytutem Chemicznej Przeróbki Węgla (aktualnie Instytutem Technologii, Paliw i Energii).²⁰ Na chwilę obecną nie funkcjonuje w Polsce żadna pełnoskalowa, komercyjna instalacja wychwytu dwutlenku węgla w elektrowni, niemniej również na świecie przykłady komercyjnego wykorzystania CCS w energetyce są nieliczne. Jako przykład podać można pierwszą na świecie tego typu instalację w Kanadzie, gdzie od 2014 r. na bloku Boundary Dam 3 o mocy 110 MW działa infrastruktura CCS.²¹ Dostrzegalne są jednak sygnały mogące sugerować większy rozwój CCS w sektorze energetyki. W ostatnim czasie za sprawą finansowania Departamentu Energii USA w kraju tym finansowanie dostało kilka projektów zmierzających do wychwytu emisji z elektroenergetyki.²² Jednym

¹⁶ World Economic Forum, How the petrochemicals industry can reduce its carbon footprint, URL: <https://www.weforum.org/agenda/2021/10/how-petrochemicals-industry-can-reduce-its-carbon-footprint/>

¹⁷ ING, Decarbonisation of petrochemicals needs more cross-sector effort, URL: <https://www.ing.com/Newsroom/News/Decarbonisation-of-petrochemicals-needs-more-cross-sector-effort.htm>

¹⁸ Aranca, Capturing the Opportunity of Carbon Capture & Storage Technology in Petrochemicals, URL: <https://www.aranca.com/knowledge-library/articles/investment-research/capturing-the-opportunity-of-carbon-capture-storage-technology-in-petrochemicals>

¹⁹ PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A, Instalacja demonstracyjna CCS, URL: <https://pgegiek.pl/ochrona-srodowiska/CCS/Instalacja-demonstracyjna-CCS>

²⁰ Tauron S.A, Tauron polskim liderem CCS, URL: <https://media.tauron.pl/pr/237633/tauron-polskim-liderem-ccs>

²¹ SaskPower, Boundary Dam Carbon Capture Project, URL: <https://www.saskpower.com/Our-Power-Future/Infrastructure-Projects/Carbon-Capture-and-Storage/Boundary-Dam-Carbon-Capture-Project>

²² Reuters, US awards up to \$890 million to carbon capture projects at gas, coal plants, URL: <https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/us-awards-up-890-million-carbon-capture-projects-gas-coal-plants-2023-12-14/>

z nich jest przedsięwzięcie zmierzające do zainstalowania na bloku gazowym o mocy 550 MW w stanie Kalifornia instalacji wychwyty dwutlenku węgla.²³ Z kolei w Polsce powołany przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska zespół ds. CCS, w którym zasiadają również przedstawiciele energetyki m.in. Tauron Wytwarzanie, PGE GiEK, Enea Wytwarzanie, pozytywnie zaopiniował przygotowanie wstępnych studiów wykonalności dla CCS w polskiej energetyce. Również Towarzystwo Gospodarcze Elektrownie Polskie zamówiło studia wykonalności dla pięciu lokalizacji – Elektrowni Kozienice, dwóch bloków gazowych Elektrowni Dolna Odra, bloku gazowego we Włocławku i EC Żerań w Warszawie.²⁴ Według danych Międzynarodowej Agencji Energii obecnie CCS w produkcji energii elektrycznej i ciepła odpowiada jedynie za 4% globalnych mocy tej technologii. MAE prognozuje jednak, że w 2030 r. miałyby być to aż 21%.²⁵

Kolejnym po wychwycie elementem łańcucha wartości jest transport dwutlenku węgla. Transport dwutlenku węgla przy pomocy rurociągów jest dojrzałą i wykorzystywaną od lat technologią. Przykładowo w Stanach Zjednoczonych istnieje licząca ponad 2500 km sieć rurociągów transportujących rocznie przeszło 50 Mt CO₂, co stanowić ma nawet 90% światowego transportu dwutlenku węgla tą metodą. CO₂ nie wykazuje większych niż węglowodory właściwości korozyjnych na metale, również w stanie nadkrytycznym przy relatywnej wilgotności mniejszej niż 60%, jednak przy transporcie wilgotnego dwutlenku węgla konieczne może być wykorzystanie stopów stali nierdzewnej o wysokiej zawartości chromu.²⁶ Adaptacja rurociągów transportujących węglowodory na potrzeby transportu dwutlenku węgla jest możliwa, czego przykładem jest ropociąg OCAP w Niderlandach przebudowany w ten sposób jeszcze w 2004 r. czy gazociąg West Gwinville w USA. Adaptacja taka wymagać może jednak znacznych inwestycji w infrastrukturę rurociągów w zakresie zabezpieczenia przed pęknięciami, degradującym na metale nieżelazne działaniem dwutlenku węgla czy instalacjami jego odwadniania. Niemniej przeprowadzone w ramach programu Horyzont 2020 badanie ACT Acorn Project wykazało, że koszt adaptacji istniejących rurociągów może wynieść 1-10% kosztów budowy nowego rurociągu dedykowanego CO₂.²⁷ Włącza to tym samym operatorów gazociągów (Gaz-System, Polska Spółka Gazownictwa z grupy PKN Orlen) i ropociągów (PERN), jak też podmioty obracające surowcem (GK PKN Orlen) do grona potencjalnych interesariuszy strategii z racji teoretycznego potencjału wykorzystania istniejącej infrastruktury do transportu CO₂.

Transport dwutlenku węgla możliwy jest też przy wykorzystaniu cystern, tym samym możliwe jest wykorzystanie sieci drogowej i kolejowej do jego dystrybucji. Transport przy pomocy cystern wykorzystywany jest jednak przeważnie w przypadku małych wolumenów i na niewielkie odległości.

²³ Calpine, Calpine's Sutter Decarbonization Project Selected by the Department of Energy to Advance Carbon Capture and Storage Infrastructure, URL: <https://calpine.com/calpines-sutter-decarbonization-project-selected-by-the-department-of-energy-to-advance-carbon-capture-and-storage-infrastructure/>

²⁴ Wysokie Napięcie, Energetycy i cementownie szykują się na inwestycje w CCS, URL: <https://wysokienapiecie.pl/72564-energetyka-i-cementownie-szykuja-sie-do-inwestycji-w-ccs/>

²⁵ Międzynarodowa Agencja Energii, Carbon Capture Utilization and Storage, URL: <https://www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage>

²⁶ Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu, IPCC Special Report on Carbon dioxide Capture and Storage (2018), URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs_chapter4-1.pdf

²⁷ Caroline Kenton, Ben Sifton, Repurposing Natural Gas Lines: The CO₂ Opportunity, URL: <https://www.adventures.com/blogs/repurposing-natural-gas-lines-the-co2-opportunity>

Zazwyczaj ten sposób transportu stosowany jest przy transporcie dwutlenku węgla z instalacji wychwytu do znajdującego się w niedużej odległości (do kilkuset kilometrów) miejsca składowania. Niemniej uważa się, że nie będzie on dominujący przy pełnym rozwoju łańcucha wartości CCUS.²⁸ Warto jednak zwrócić uwagę, że niektóre projekty rozwijane w Polsce zakładają właśnie transport przy pomocy cystern kolejowych. W ramach projektów GO4ECOPlanet i ECO2CEE cementownia Holcim na Kujawach zamierza w ten właśnie sposób wywozić wychwycony dwutlenek węgla do portu w Gdańsku, skąd zostanie on wyeksportowany drogą morską do magazynów w Norwegii. Wg CEO Holcim Polska dla cementowni emitującej obecnie ok. 1 mln ton CO₂ rocznie, oznacza to konieczność zorganizowania ok. trzech transportów kolejowych dziennie.²⁹ Tym samym za interesariuszy strategii można uznać również firmy zajmujące się drogowym i kolejowym przewozem substancji chemicznych, wśród nich np. PKP Cargo.

Na dłuższe dystanse wskazuje się opłacalność transportu morskiego, który może dodatkowo łączyć rozproszonych emitentów w spójną sieć bez konieczności budowy sieci rurociągowej, jeśli zakłady przemysłowe położone byłyby w bezpośredniej bliskości portu lub hubu dwutlenku węgla (z możliwością połączenia z innymi modalnościami transportu). Liczne badania wykazują ekonomiczną korzyść z transportu CO₂ drogą morską w porównaniu z gazociągami na dystanse większe niż 1000 kilometrów. Dodatkowo zwraca się uwagę na możliwości adaptacji istniejącej floty tankowców LNG czy LPG na potrzeby transportu dwutlenku węgla. Przykładem może być operująca już jednostka Coral Carbonic, która jest statkiem podwójnego zastosowania zdolnym do transportu zarówno CO₂ jak też LNG. Według dostępnej literatury naukowej nie istnieją poważne przeszkody techniczne do adaptacji istniejących jednostek na potrzeby transportu dwutlenku węgla.³⁰ Ponadto wskazuje się możliwe synergie pomiędzy wiedzą i doświadczeniem wyniesionymi z transportu, przeładunku i tankowania lub bunkrowania LNG/LPG a CO₂. Procedury i dobre praktyki wypracowane w trakcie eksploatacji np. terminalu LNG mogą zostać wykorzystane również przy obsłudze podobnych operacji w terminalach przeładunkowych dwutlenku węgla. Na to czy branża transportu morskiego będzie istotnym interesariuszem strategii CCUS wpływ będzie miała ostateczna koncepcja składowania dwutlenku węgla przyjęta w Polsce. Składowanie w podziemnych strukturach geologicznych na terenach lądowych czy nawet pod powierzchnią Morza Bałtyckiego promować będzie powstanie sieci rurociągowej do transportu dwutlenku węgla. Jednak jeśli rozwiną się liczne projekty zakładające transport wychwyconego CO₂ za granicę, szczególnie do miejsc składowania na Morzu Północnym, wydaje się, że zasadne będzie wtedy rozwinięcie polskich kompetencji w zakresie transportu morskiego dwutlenku węgla, bazując na dotychczasowym doświadczeniu operacji terminali innych gazów np. terminalu LNG, a być może również pozyskanie własnych jednostek morskich zdolnych do transportu CO₂. Warto zwrócić uwagę, że rozwijany już dziś projekt ECO2CEE zakłada właśnie transport

²⁸ Global CCS Institute, Fact Sheet. Transporting CO₂ (2018), URL: https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2018/12/Global-CCS-Institute-Fact-Sheet_Transporting-CO2-1.pdf

²⁹ Xavier Guesnu, Building CCUS Infrastructure – presentations and discussion, Carbon Sequestration Leadership Forum, Warszawa, 14.06.2023

³⁰ Hisham Al Baroudi, Adeola Awoyomi, Kumar Patchigolla, Kranthi Jonnalagadda, E.J. Anthony, A review of large-scale CO₂ shipping and marine emissions management for carbon capture, utilisation and storage, w: Applied Energy 287 (2021), URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261921000684>

dwutlenku węgla za granicę. Stąd polskie stocznie, armatorów i porty należy również włączyć do grona interesariuszy niniejszego dokumentu strategicznego.

Łańcuchem wartości o równie dużym potencjale rozwoju jest ten stworzony wokół wykorzystania wychwyconego dwutlenku węgla. Głównym możliwym zastosowaniem wykorzystania wychwyconego CO₂ jest produkcja chemiczna. Wśród najważniejszych produktów chemicznych powstających z wykorzystaniem CO₂ należy wymienić metanol (CH₃OH), którego szerokie zastosowanie obejmuje m.in. wykorzystanie jako paliwo w transporcie lub komponent paliwa opartego o węglowodory czy produkcję rozpuszczalników. Wskazuje się też na metanol jako potencjalny nośnik energii, konkurencyjny wobec wodoru, ze względu na lepsze parametry m.in. gęstości energii czy łatwiejszy transport. Istotnym produktem chemicznym jest też powstający z reakcji dwutlenku węgla z amoniakiem mocznik. Najważniejszym zastosowaniem mocznika jest produkcja rolnicza, z racji tego, że mocznik jest uniwersalnym nawozem o szerokiej gamie zastosowań. Jest też wykorzystywany jako reduktor w substancjach niwelujących emisje tlenków azotu np. dodatek do diesla AdBlue. Kolejnym istotnym produktem chemicznym produkowanym przy wykorzystaniu CO₂ są polimery, złożone substancje chemiczne stanowiące bazę tworzyw sztucznych np. PCV czy PEG. Tym samym wśród najważniejszych interesariuszy technologii CCU w Polsce w zakresie produkcji chemicznej należy wskazać spółki już teraz produkujące nawozy, w szczególności Grupę Azoty czy Anwil (Grupa Orlen), jak też polimerów (Polimery Police, Grupa Azoty). Warto zwrócić uwagę na fakt, że zakłady te są jednocześnie istotnymi emitentami gazów cieplarnianych. Tym samym potencjalnie mogłyby one jednocześnie redukować swoje emisje poprzez wychwyt dwutlenku węgla i ponownie go wykorzystywać w procesach produkcyjnych. Warto zwrócić też uwagę, że w Polsce istnieją plany zwiększenia zdolności produkcji metanolu.

Inną istotną gałęzią wykorzystania wychwyconego CO₂ może być produkcja gazu i paliw syntetycznych. W wyniku połączenia nisko- bądź bezemisyjnego wodoru z dwutlenkiem węgla wyprodukować można paliwa węglowodorowe bądź gazowe (metan) tożsame z tymi wykorzystywanymi obecnie. Umożliwić to może wykorzystanie istniejącej infrastruktury np. gazociągów czy stacji tankowania paliw.³¹ Jak wskazano, produkcja paliw syntetycznych jest jednym ze strategicznych obszarów wykorzystania wychwyconego dwutlenku węgla przewidzianym w krajowych dokumentach. Tym samym za interesariuszy rozwoju CCU w Polsce uznać można również sektor paliwowy oraz motoryzacyjny.

Dobrze zbadaną, jednak wciąż niewykorzystywaną na szeroką skalę technologią jest wiązanie betonu przy pomocy dwutlenku węgla (concrete curing). Dwutlenek węgla rozpuszczany jest w betonie tworząc stabilne węglany wapnia. Rozpuszczenie dwutlenku węgla wychwyconego np. z procesów przemysłowych pozwala na zmniejszenie emisji (produkcji dwutlenku węgla tylko i wyłącznie na potrzeby tego procesu), jak też pozwala na trwałe wiązanie wychwyconego dwutlenku węgla strukturze betonu, przez co również nie trafia on do atmosfery.³² Jakkolwiek liczne badania sugerują korzyści w postaci obniżenia emisji, konieczne jest uwzględnienie emisyjności transportu dwutlenku

³¹ Vishal Ram, Surender Reddy Salkuti, An Overview of Major Synthetic Fuels (18.03.2023), URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/6/2834>

³² The Constructor, Curing of Concrete by Carbon Dioxide, URL: <https://theconstructor.org/concrete/curing-concrete-carbon-dioxide/39587/>

węgla do miejsca produkcji betonu i jej zmniejszania, tak by cały proces był korzystny dla klimatu.³³ Warto też zwrócić uwagę, że sam proces produkcji materiałów budowlanych i ich zastosowania może przyczynić się do wychwytu dwutlenku węgla z atmosfery np. poprzez wykorzystanie kruszyw recyklingowanych.³⁴ W ten sposób można obniżyć emisyjność nawet o 18% w stuletnim cyklu życia elementów betonowych. Tym samym za interesariuszy rozwoju technologii CCU uznać można również uznać sektor budownictwa i produkcji materiałów budowlanych.³⁵

Najprawdopodobniej najlepiej rozpoznanym i już wykorzystywanym zastosowaniem dla dwutlenku węgla jest wspomagane wydobywanie węglowodorów (Enhanced Oil Recovery, EOR). Metoda ta polega na zatłaczaniu dwutlenku węgla do pola naftowego, tak by zmniejszyć gęstość ropy naftowej i ułatwić jej wydobywanie z trudniej dostępnych pokładów. Opłacalność tego sposobu wykorzystania uzależniona jest więc w dużej mierze od cen ropy naftowej. Niemniej niektóre badania sugerują, że wykorzystanie dwutlenku węgla w ramach EOR może przynieść korzyści w postaci większej ilości zatłoczonego dwutlenku węgla do podziemnego złoża aniżeli zostanie wyemitowane w procesie spalania wydobytej ropy.³⁶ Stąd za interesariuszy niniejszego dokumentu strategicznego uznać można również spółki prowadzące działalność wydobywczą (Grupa Orlen). Regulacje dotyczące EOR są przedmiotem nowelizacji polskiego prawa górniczego i geologicznego przeprowadzonych w 2023 r., warto jednak zwrócić uwagę, że wytyczne CEEAG zabraniają w Unii Europejskiej publicznego wsparcia inwestycji w technologii EOR. Tym samym tego zastosowania wychwyconego dwutlenku węgla nie można uznać za przyszłościowe z perspektywy Polski.

Oprócz rozważań nad potencjalnym łańcuchem wartości, warto też zwrócić uwagę na synergie pomiędzy wdrożeniem CCS i CCU a innymi gałęziami zdekarbonizowanej gospodarki. Szczególną uwagę zwraca tu kwestia wykorzystania tlenu do tzw. oxy-spalania, tj. spalania paliwa w czystym tlenie, co tworzy czyste gazy wylotowe, a więc w przypadku spalania węgla czy gazu ziemnego czysty dwutlenek węgla i parę wodną. Ułatwia to jego separację i obniża jej koszty. Warto zwrócić uwagę, że metoda ta może zyskać na rozwoju gospodarki wodorowej, gdzie w procesie produkcji wodoru (elektroliza) powstaje również tlen. Dotychczas głównym wyzwaniem dla technologii oxy-spalania była wysoka cena tlenu, jednak produkcja wodoru na dużą skalę może zmienić ten stan rzeczy.³⁷

³³ Dwarakanath Ravikumar, Duo Zhang, Gregory Keoleian, Shelie Miller, Volker Sick & Victor Li, Carbon dioxide utilization in concrete curing or mixing might not produce a net climate benefit (8.02.2021), URL: <https://www.nature.com/articles/s41467-021-21148-w>

³⁴ prof. dr hab. eur. inż. Tomasz Z. Błaszczczyński, mgr inż. Maciej Król, Produkcja betonu a problem redukcji emisji dwutlenku węgla, URL: <https://www.izolacje.com.pl/artukul/chemia-budowlana/166160,produkcja-betonu-a-problem-redukcji-emisji-dwutlenku-węgla>

³⁵ Barbara Zając, Irena Gołębiowska, Możliwość redukcji CO₂ przez zastosowanie betonu zrównoważonego i kruszywa recyklingowego w: Inżynieria i Aparatura Chemiczna 2012, 51, 5, 262-264

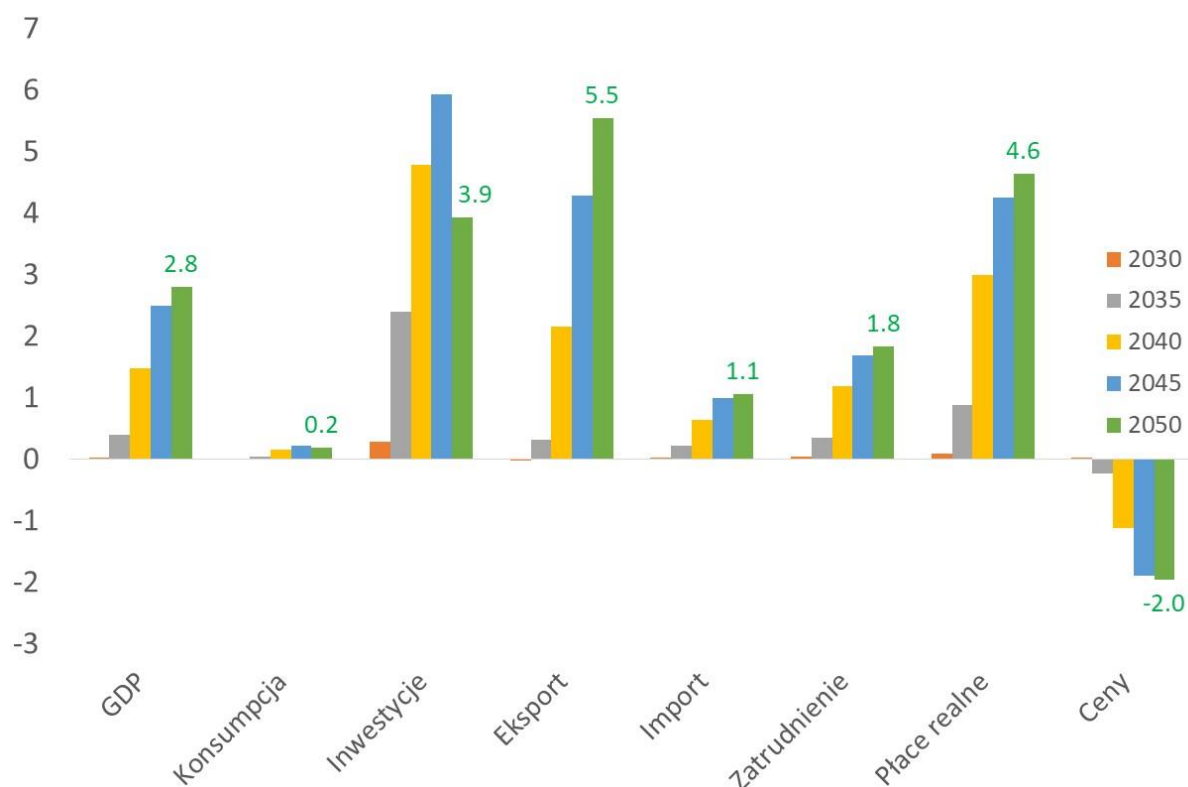
³⁶ Bobby Magill, Using CO₂ Emissions to Pump Oil May Help the Climate (31.07.2014), URL: <https://www.climatecentral.org/news/co2-emissions-to-pump-oil-may-help-climate-17838>

³⁷ Prof. Wojciech Nowak, R&D in the CCUS sector - panel discussion, Carbon Sequestration Leadership Forum, Warszawa, 14.06.2023

3 Cele i wskaźniki strategii

3.1 Wizja budowy polskiego łańcucha wartości CCUS

Budowa pełnego łańcucha wartości wychwytu, składowania i utylizacji dwutlenku węgla z przemysłu i elektroenergetyki zlokalizowanego w Polsce w oparciu o kompetencje polskich przedsiębiorstw jest wizją przyświecającą niniejszemu dokumentowi strategicznemu. Częścią tej wizji jest stworzenie zdekarbonizowanej i konkurencyjnej gospodarki przy pomocy technologii CCUS, pełniących rolę komplementarną do pozostałych działań tj. elektryfikacji, zwiększenia efektywności energetycznej czy rozwoju odnawialnych źródeł energii oraz energetyki jądrowej. Wdrożenie CCUS obniży emisyjność polskiej gospodarki, tym samym zwiększając pulę środków dostępnych na inwestycje. To z kolei pobudzi zatrudnienie, a także produkcję i przełoży się na większy eksport w porównaniu do scenariusza, w którym technologie te nie są wdrażane.



Rysunek 4. Wpływ wdrożenia scenariusza CCUS na poszczególne obszary gospodarki krajowej w ramach scenariusza CCS [projekt CCUS.pl]

Wizja, w realizacji której pomóc ma niniejszy dokument strategiczny, obejmuje tym samym składowanie dwutlenku węgla na terenie Polski zarówno w wyczerpanych złożach węglowodorów, jak też formacjach solankowych oraz potencjalne uczynienie Polski regionalnym *hubem* dwutlenku węgla z możliwością jego importu z perspektywicznych kierunków, jak kraje bałtyckie czy Skandynawia. Konieczne jest tym samym zapewnienie wysokiej akceptacji społecznej dla podziemnego składowania dwutlenku węgla. W innym wypadku grozi to koniecznością przeniesienia usługi składowania CO₂ poza granice kraju, co stanowiłoby uszczerbek dla kompetencji Polski w tym zakresie. Badana będzie też zasadność składowania CO₂ *offshore* pod dnem Morza Bałtyckiego.

W wizji niniejszego dokumentu strategicznego kluczowe jest zachowanie miejsc pracy w przemyśle poprzez jego dekarbonizację, a także stworzenie nowych miejsc pracy, stałych i tymczasowych, związanych z infrastrukturą CCUS. Według szacunków agencji Rhodium Group wykonanych dla Stanów Zjednoczonych pojedyncza instalacja CCS może wygenerować od kilkuset do nawet kilku tysięcy miejsc pracy w fazie konstrukcyjnej. Z kolei w fazie operacyjnej liczba ta wynosi średnio kilkadziesiąt osób. Należy jednak pamiętać, że CCS ma przede wszystkim potencjał ochrony istniejących miejsc pracy w przemyśle, który znajdował się będzie pod coraz większą presją finansową w związku z polityką klimatyczną.

Polskie podmioty zdobędą w toku realizacji założeń strategii kompetencje na wszystkich poziomach i we wszystkich wymiarach łańcucha wartości. W wizji niniejszego dokumentu strategicznego polskie podmioty wdrażające technologie CCUS zyskają doświadczenie niezbędne do dalszego ich rozwoju w kraju oraz za granicą np. poprzez udział w międzynarodowych konsorcjach realizujących projekty podziemnego zatłaczania dwutlenku węgla. Jednocześnie polscy dostawcy i poddostawcy, jak również firmy inżynieryjne, zaangażowane będą w projektowanie i budowę samych instalacji.

3.2 Cele dokumentu strategicznego

Przedstawione cele ilościowe w ramach zdefiniowanych dziewięciu celów szczegółowych dokumentu strategicznego, stanowią wynik analiz prowadzonych dla dwóch scenariuszy - business-as-usual (BAU) oraz CCS³⁸ w ramach projektu CCUS.pl. Dostępność i wykorzystanie CCS w Polsce jest jedynym czynnikiem różnicującym te scenariusze. W ten sposób, scenariusz BAU opisuje co by się stało, gdyby Polska nie podążała europejską ścieżką rozwoju CCS. Scenariusz referencyjny został dobrany na podstawie ustaleń eksperckich. Konieczne jest porównanie scenariusza CCS do innych scenariuszy referencyjnych, np. przyspieszonego rozwoju OZE. Stanowiąc to będzie kontynuację prac nad docelową Strategią, a opierać się powinno o modele i scenariusze przygotowane m.in. na potrzeby aktualizacji Krajowego Planu w dziedzinie Energii i Klimatu.

CEL 1: WDROŻENIE TECHNOLOGII CCS W PRZEMYŚLE Z EMISJAMI PROCESOWYMI

Szerokie wdrożenie CCS w produkcji cementu i wapna. Branża produkcji cementu stoi w obliczu wyzwania redukcji emisji, które jest szczególnie trudne wobec faktu, że emisje procesowe stanowią znakomitą ich większość tj. ok. dwóch trzecich emisji. To samo dotyczy sektora produkcji wapna, gdzie udział emisji procesowych wynosi trzy czwarte. Stąd technologie CCS wskazywane są jako jedyne, wystarczająco zaawansowane rozwiązanie technologiczne zdolne do dekarbonizacji produkcji cementu i wapna, a tym samym branże te są predestynowane do wczesnego wdrożenia omawianych rozwiązań. Na chwilę obecną jedyny pełnoskalowy projekt przemysłowego wychwytu dwutlenku węgla realizowany jest w cementowni Holcim na Kujawach (GO4ECOPLANET).

Celem niniejszego dokumentu strategicznego jest **pełna dekarbonizacja sektora cementowego i wapienniczego w oparciu o wdrożenie technologii CCS**. Oznaczać to będzie wdrożenie wychwytu dwutlenku węgla już **do 2030 r. w wysokości 1 mln ton rocznie**, co powinno zostać pokryte przez wspomniany projekt w cementowni Kujawy. W następnych latach wymagany jest jednak dynamiczny

³⁸ Giers, M., Rubaszek, M. (2024). Społeczno-ekonomiczne korzyści wdrożenia CCUS w Polsce. WiseEuropa.

wzrost, który zgodnie z wynikami analiz dla scenariusza CCS, wyniesie do 6,5 mln ton w 2040, **9,5 mln ton w 2045, a następnie aż 12 mln ton rocznie do 2050 r.** Oznacza to, że do 2045 r. instalacja wychwyty dwutlenku węgla powinna zostać zainstalowana w co najmniej czterech z sześciu działających obecnie w Polsce cementowniach. Do 2050 r. CCS zostanie zainstalowany na wszystkich funkcjonujących zakładach produkcji cementu i wapna, jak też w nowych zakładach, jeśli takie miałyby w Polsce powstać, a do tego czasu nie byłyby wystarczająco dojrzałe inne rozwiązania technologiczne zakładające uniknięcie emisji w produkcji cementu i wapna.

Należy jednak wziąć pod uwagę, że zarówno przemysł cementowy, jak i wapienniczy, posiada własne prognozy, które wskazują **konieczność znacznie szybszego wdrożenia technologii CCUS.** Rok 2040 określony został jako moment, w którym osiągnięte zostanie **wdrożenie technologii CCUS w zdecydowanej większości zakładów produkcyjnych działających na terenie kraju.** Wynika to zarówno z ograniczenia podaży darmowych uprawnień do emisji CO₂ od 2026 roku, aż do ich całkowitej likwidacji w 2034 roku, jak również presji konkurencji zarówno z obszaru Unii Europejskiej jak i importu oraz finalnie rosnącego popytu na nisko- i zeroemisyjny cement i wapno. W sektorze produkcji cementu, zgodnie z działaniami zainicjowanymi przez cementownię Holcim na Kujawach w ramach projektu GO4ECOPLANET, **do 2030 roku łączny wolumen wychwyconego CO₂ wyniesie 1 mln ton CO₂ na rok.** Po roku 2030, wraz z rozwojem infrastruktury do transportu i składowania CO₂ (opisanej w Celach 5 i 6), kolejne zakłady produkcyjne włączane będą do klastrów i hubów technologii CCUS. Aktualne ambicje sektora produkcji cementu wskazują **cel dla 2035 roku wynoszący 5 – 7 mln ton CO₂ na rok, 10 – 12 mln ton CO₂ na rok w 2035 i 15 – 17 mln ton CO₂ na rok w 2040.** Łącznie daje to ok. 15 instalacji do wychwyty CO₂ działających w ramach krajowego sektora produkcji cementu. W sektorze produkcji wapna, proces wdrożenia technologii CCUS powinien rozpocząć się **w 2033 roku od ok. 250 tys ton CO₂ na rok, z celem 1,5 mln ton CO₂ na rok w 2040 roku** i pełnego wdrożenia technologii CCUS przed 2045 rokiem (od 2 mln ton CO₂ na rok). Na poziomie krajowym, wiąże się to z uruchomieniem do 2040 roku ok. 12 instalacji do wychwyty CO₂ w zależności od zmian technologicznych po stronie sektora wapienniczego i zmian w mocach produkcyjnych. Z uwagi na uwarunkowania lokalizacyjne – zakłady wapiennicze znajdują się w większości przypadków w niewielkiej odległości od cementowni – będą one również włączać się w **huby transportu i składowania dwutlenku węgla**, tworząc szkielet klastrów technologii CCUS w Polsce.

Tabela 2. Działania priorytetowe i cele cząstkowe wdrożenia CCS w przemyśle z emisjami procesowymi

DZIAŁANIA PRIORYTETOWE I CELE CZĄSTKOWE	
2030	2035
1.1. Uruchomienie instalacji wychwyty CO ₂ w ramach projektu GO4ECOPLANET o wydajności 1 mln ton CO₂ na rok	1.6. Uruchomienie pierwszej instalacji do wychwyty CO ₂ w sektorze wapienniczym o wydajności do 250 tys. ton CO₂ na rok
1.2. Przygotowanie założeń rozwoju technologii CCUS w przemyśle cementowym i wapienniczym z perspektywą pełnego wdrożenia do roku 2040	1.7. Uruchomienie co najmniej 4 nowych instalacji wychwyty CO₂ w przemyśle cementowym w ramach przynajmniej 2 hubów

<p>1.3. Zakwalifikowanie projektów z sektora cementowego i wapienniczego do wsparcia finansowego w ramach węglowych kontraktów różnicowych dla min. 25% emisji obu sektorów</p> <p>1.4. Zwiększenie wykorzystania paliw niskoemisyjnych i biomasowych w miksie paliwowym zakładów przemysłowych</p> <p>1.5. B+R w zakresie technologii spalania tlenowego w piecach do wypalania klinkieru i wapna</p>	<p>technologii CCS zlokalizowanych na terenie kraju</p> <p>1.8. Zakwalifikowanie projektów z sektora cementowego i wapienniczego do wsparcia finansowego w ramach węglowych kontraktów różnicowych do łącznej wartości nie większej niż 50% emisji obu sektorów</p>
2040	2050
<p>1.9. Zwiększenie roli przemysłu cementowego i wapienniczego w ramach łańcucha technologii BECCS poprzez pełne zastąpienie paliw kopalnych paliwami nisko- i zeroemisyjnymi</p> <p>1.10. Uruchomienie co najmniej 1 pieca do wypalania klinkieru lub wapna pracującego w technologii spalania tlenowego</p> <p>1.11. 80% redukcja procesowych emisji bezpośrednich CO₂ w obu sektorach w oparciu o wykorzystanie technologii CCS</p>	

CEL 2: WDROŻENIE TECHNOLOGII CCS W KLUCZOWYCH SEKTORACH PRZEMYSŁU

Wdrożenie CCS w przemyśle stalowym, chemicznym, petrochemicznym, rafineryjnym, szklarskim i ceramicznym. Wychwyt dwutlenku węgla jest również perspektywiczną technologią dekarbonizacyjną dla innych gałęzi przemysłu, szczególnie produkcji stali, chemii czy petrochemii. Produkcja stali może zostać zdekarbonizowana przy pomocy wielu dostępnych technologii, stąd zakładany w niniejszym dokumencie, dla scenariusza CCS, komplementarny udział CCUS w obniżaniu emisyjności sektora. Docelowo w 2050 r. **wychwyt emisji z sektora stalowego wyniesie 8,3 mln ton rocznie, co odpowiada około jednej trzeciej obecnych jego emisji.** Wychwyt emisji z sektora stalowego w Polsce pojawi się już po 2030 r. w wysokości 1,5 mln ton rocznie z największym przyrostem do 5,5 mln ton po 2035 r. W sektorze **produkcji chemicznej** perspektywy wdrożenia CCUS widoczne są szczególnie przy produkcji amoniaku. Może zostać on wdrożony **w tym sektorze po 2035 r. początkowo z wolumenem wychwyty 2,1 mln ton rocznie, a docelowo w perspektywie 2050 r. osiągając 3 mln ton.** Należy jednak zaznaczyć, że we wspomnianych sektorach istnieje szereg rozwiązań alternatywnych w obszarze dekarbonizacji. Tym samym konieczne jest szczegółowe zweryfikowanie ścieżek dekarbonizacji poszczególnych

przedsiębiorstw, przy jednoczesnym wskazaniu przestrzeni technologiczno-logistycznej oraz otoczenia prawnego do planowania tego typu projektów w tych kluczowych sektorach przemysłu.

Tabela 3. Działania priorytetowe i cele częściowe wdrożenia CCS w kluczowych sektorach przemysłu

DZIAŁANIA PRIORYTETOWE I CELE CZĄSTKOWE	
2030	2035
<p>2.1. Szczegółowa inwentaryzacja źródeł emisji CO₂ z poszczególnych sektorów przemysłowych z uwzględnieniem informacji o technicznej i organizacyjnej gotowości do wdrożenia technologii CCUS</p> <p>2.2. Przygotowanie założeń rozwoju technologii CCUS pozostałych sektorach przemysłu z perspektywą pełnego wdrożenia do roku 2050</p> <p>2.3. Zakwalifikowanie projektów z pozostałych sektorów przemysłu do wsparcia finansowego w ramach węglowych kontraktów różnicowych o wydajności min. 1 mln ton CO₂ na rok</p> <p>2.4. B+R w zakresie integracji technologii wychwytu CO₂ w ramach ciągów technologicznych przemysłu chemicznego, stalowego, rafineryjnego i szklarskiego</p>	<p>2.5. Uruchomienie pierwszej instalacji komercyjnej do wychwytu CO₂ w sektorze stalowym lub chemicznym o wolumenie powyżej 1 mln ton CO₂ na rok</p> <p>2.6. Uruchomienie pierwszej instalacji komercyjnej do wychwytu CO₂ w sektorze szklarskim lub ceramicznym o wolumenie ok. 50 tys. ton CO₂ na rok</p> <p>2.7. Zakwalifikowanie projektów z pozostałych sektorów przemysłu do wsparcia finansowego w ramach węglowych kontraktów różnicowych o wydajności min. 3 mln ton CO₂ na rok</p> <p>2.8. Pilotażowe projekty wdrażania technologii CCUS na mniejszych, rozproszonych, źródłach emisji CO₂ w sektorach przemysłu objętych EU-ETS</p>
2040	2050
<p>2.9. Zwiększenie udziału technologii CCUS w kluczowych sektorach przemysłowych zgodnie z założeniami, w tym łącznie wychwyt CO₂ na poziomie nie niższym niż 5 mln ton CO₂ na rok dla projektów posiadających uzasadnienie biznesowe</p>	<p>2.10. Wdrożenie technologii CCS w wszystkich zidentyfikowanych kluczowych sektorach przemysłowych zgodnie z założeniami, w tym łącznie wychwyt CO₂ na poziomie nie niższym niż 10 mln ton CO₂ na rok dla projektów posiadających uzasadnienie biznesowe</p>

CEL 3: OKREŚLENIE ROLI TECHNOLOGII CCS W ENERGETYCE ZAWODOWEJ, KOMUNALNEJ I PRZEMYSŁOWEJ

Wdrożenie CCS w energetyce gazowej i warunkowo również w węglowej. Gaz ziemny w polityce UE traktowany jest jako paliwo przejściowe, a jego wykorzystanie m.in. w elektroenergetyce pozwoli na redukcję emisji względem spalania węgla, jak też bilansowanie odnawialnych źródeł energii. Spodziewany jest w Polsce wzrost generacji energii z gazu ziemnego (prognozowana w KPEiK z

października 2024 r. produkcja energii elektrycznej z gazu ma osiągnąć do 2040 r. poziom 30-35 TWh rocznie). W związku z tym w 2050 r. znakomita większość mocy gazowych może być wyposażona w instalację wychwyty dwutlenku węgla – celem jest 80% produkcji energii z gazu ziemnego z wykorzystaniem CCUS – szczególnie przy założeniu że część bloków gazowo-parowych w latach 2030 – 2045 pracować będzie w trybie ciągłym. **Produkcja w blokach elektrowni i elektrociepłowni gazowo-parowych z CCUS może pojawić się w Polsce już po 2035 r. i wychwytywać ok. 2,3 mln ton CO₂ rocznie, a docelowo w 2050 r. – 5,6 mln ton CO₂ na rok.** Wielkość wychwyty zależeć będzie od harmonogramu wprowadzania do eksploatacji energetyki jądrowej, która przejmie funkcję podstawowego bezemisyjnego źródła energii elektrycznej. Znaczna część bloków gazowych pracować będzie w trybie regulacyjnym, dla którego niemożliwe jest uzyskanie uzasadnienia biznesowego wdrożenia instalacji CCUS bez dodatkowych mechanizmów wsparcia. W przypadku rozwoju sektora biogazu oraz energetyki wodorowej, udział konwencjonalnej energetyki gazowej opartej o gaz ziemny wyposażonej w CCUS może być marginalny.

W przypadku energetyki węglowej będącej przedmiotem największych restrykcji w dziedzinie polityki klimatycznej konieczna jest przede wszystkim rzetelna ocena ich przyszłej roli w systemie elektroenergetycznym. **W przypadku stwierdzenia opóźnienia w realizacji budowy elektrowni jądrowych, w celu utrzymania bezpieczeństwa energetycznego kraju, konieczne będzie najpóźniej od 2035 - 2040 roku wyposażenie w instalację CCUS niektórych najnowszych bloków elektrowni Turów, Opole, Jaworzno i Kozienice.** Bloki te pracować będą przy zmiennym obciążeniu, regulując krajowy system elektroenergetyczny. Stąd projektowane instalacje CCUS powinny odpowiadać mocy minimalnej, do której można obniżyć obciążenie, tj. 400-450 MW, tak aby zapewnić relatywnie stały poziom przepływu wychwytywanego dwutlenku węgla. W związku z przygotowywanymi nowymi regulacjami rynku mocy na okres 2030 - 2040, można zaprojektować pracę tych bloków z emisjami mniejszymi niż 550 kg dwutlenku węgla na MWh. Natomiast w pełnej skali redukcji emisji dla tych bloków, z produkcją ok. 70% energii z węgla z wykorzystaniem CCUS w 2050 r., otrzymuje się **docelowy potencjał wychwyty do 16,6 mln ton dwutlenku węgla rocznie.** W przypadku wdrożenia wyłącznie dla planowanych regulacji rynku mocy i pułapu 550 kg CO₂ na MWh, wolumen ulegnie zmniejszeniu do 5 mln ton na rok. Do tego dochodzi jeszcze możliwość wdrożenia technologii zgazowania węgla, na przykład w ramach układów bloków elektrociepłowni gazowo-parowych, które uwzględnione są m.in. w Umowie Społecznej. Zgazowanie węgla mogłoby też znaleźć swoje zastosowania w ramach łańcucha wartości przemysłu chemicznego. Takie układy mogłyby dodać, w ramach sektora technologii CCS, dodatkowe 4 mln ton CO₂ na rok od 2035 roku.

W zależności od procesów transformacji dużych systemów ciepłowniczych w Polsce (m.in. Warszawa, Kraków, Aglomeracja Śląska), może zaistnieć również **potrzeba wdrożenia technologii CCUS w ramach istniejących bloków elektrociepłowni.** Skala ta jest jednak trudna do zdefiniowania, zarówno z uwagi na procesy transformacji i przejście na paliwa gazowe lub biomasowe, jak również rozwój wielkoskalowych technologii niskoemisyjnej produkcji ciepła. Ta sama sytuacja dotyczyć może również elektrociepłowni przemysłowych, które oprócz węgla wykorzystują także inne paliwa kopalne lub produkty uboczne procesów przemysłowych.

Scenariusz wdrożenia technologii CCS w energetyce zawodowej i komunalnej zależy od całego spektrum procesów w ramach transformacji sektora elektroenergetycznego i ciepłownictwa

systemowego. Niemniej jednak, nie można z całą pewnością wykluczyć, że technologie CCUS znajdą swoje zastosowanie w ramach sektora elektroenergetycznego oraz ciepła systemowego (w tym przemysłowego). Należy również mieć na uwadze, że wprowadzenie technologii CCUS do energetyki zawodowej, znacząco zwiększy wolumen wychwyconego CO₂, który w roku 2035 mógłby stanowić, zgodnie ze scenariuszem CCS, ok. 25% wolumenu wychwyconego CO₂ w Polsce, z perspektywą zwiększenia tego udziału do ponad 50% w perspektywie lat 2040 – 2050. Będzie to mieć kluczowe znaczenie dla budowy infrastruktury do transportu i magazynowania CO₂, jak również na koszty w ramach wspólnych sieci, które łączyć będą ze sobą podmioty wychytujące CO₂ z energetyki i przemysłu. Efekt skali, w takiej konfiguracji, ma potencjał do obniżenia jednostkowych kosztów tych składowych łańcucha technologii CCUS, ale jednocześnie może stanowić wyzwanie dla zapewnień odpowiednich przepustowości oraz wykorzystania zasobów geologicznych do składowania CO₂.

Ocenia się, że **w horyzoncie czasowym do 5 lat, konieczne będzie podjęcie kluczowych i wiążących decyzji w zakresie wykorzystania technologii CCUS w sektorze energetyki zawodowej i komunalnej** wykorzystującej dzisiaj paliwa kopalne. Powinno to być ściśle skorelowane z transformacją tych sektorów w Polsce poprzez realizowane programy wdrażania energetyki jądrowej, dalszego rozwoju energetyki odnawialnej i wielkoskalowego magazynowania energii. Istotny jest również aspekt społeczny w kontekście sprawiedliwej transformacji regionów górniczych.

Osobną kwestią pozostaje wykorzystanie technologii CCUS w ramach układów energetycznych wykorzystujących biomasę (tzw. BECCS), co zostało zawarte w Celu nr 7 niniejszego dokumentu strategicznego. W odniesieniu do technologii BECCS, otwartą ścieżką pozostaje **repowering bloków węglowych w kierunku spalania biomasy, a następnie wyposażenie ich w technologię CCUS**. Dotyczy to przede wszystkim układów kogeneracyjnych pracujących na rzecz miejskich systemów ciepłowniczych w średniej i dużej skali (powyżej 100 MW mocy cieplnej w paliwie). Dwutlenek węgla wychwycony w tych instalacjach mógłby być wykorzystywany do produkcji odnawialnych paliw syntetycznych (Cel nr 8).

Tabela 4. Działania priorytetowe i cele cząstkowe wdrożenia CCS w energetyce zawodowej, komunalnej i przemysłowej

DZIAŁANIA PRIORYTETOWE I CELE CZĄSTKOWE	
2030	2035
3.1. Przeprowadzenie szczegółowej inwentaryzacji źródeł emisji CO ₂ z poszczególnych bloków energetycznych oddanych do eksploatacji po 2015 roku z uwzględnieniem informacji o technicznej i organizacyjnej gotowości do wdrożenia technologii CCUS	<u>Warunkowo – dla decyzji pozytywnych w ramach działania 3.3:</u>
3.2. Przygotowanie założeń rozwoju technologii CCUS w sektorze energetyki	3.4. Uruchomienie pierwszej instalacji komercyjnej do wychwyty CO₂ dla wskazanego bloku gazowo-parowego o wolumenie powyżej 1mln ton CO ₂ na rok
	3.5. Uruchomienie instalacji komercyjnej do wychwyty CO₂ ze zgazowania węgla w ramach bloku energetycznego kogeneracyjnego gazowo-parowego lub produkcji chemicznej

zawodowej, komunalnej i przemysłowej z perspektywą eksploatacji do roku 2050	
3.3. Decyzja kierunkowa na bazie uzasadnienia biznesowego, gospodarczego i społecznego w obszarze wdrożenia technologii CCUS w energetyce zawodowej, komunalnej i przemysłowej opartej o gaz ziemny i węgiel kamienny	
2040	2050
<u>Warunkowo – dla decyzji pozytywnych w ramach działania 3.3:</u>	<u>Warunkowo – dla decyzji pozytywnych w ramach działania 3.3:</u>
3.6. Zwiększenie udziału produkcji energii elektrycznej i ciepłej z gazu ziemnego wyposażonej w CCUS do 50%	3.8. Zwiększenie udziału produkcji energii elektrycznej i ciepłej z gazu ziemnego wyposażonej w CCUS do 80%
3.7. Oddanie do eksploatacji instalacji CCUS zintegrowanych z wybranymi najnowszymi blokami elektrowni węglowych Turów, Opole, Jaworzno i/lub Kozienice	

CEL 4: WSPARCIE ROZWOJU SEKTORA WODOROWEGO

Produkcja „niebieskiego” wodoru z wychwytem dwutlenku węgla. Wodór produkowany w procesie reformingu parowego gazu ziemnego (SMR) może stanowić motor dla rodzącego się rynku wodoru zanim rozbudowane zostaną moce produkcji w procesie elektrolizy. Wykorzystanie CCUS w procesie SMR obniża jego emisyjność i pozwala tym samym na dłuższe jego wykorzystanie w procesie transformacji energetycznej. **Stąd celem niniejszego dokumentu strategicznego jest uruchomienie pierwszego demonstracyjnego projektu komercyjnego już po roku 2030 r. i dalsza rozbudowa mocy pozwalająca na docelowy wychwyt 7 mln ton dwutlenku węgla rocznie w perspektywie 2040-2050.** Odpowiadałoby to w przybliżeniu produkcji 450 tys. ton wodoru w 2040 r. i 750 tys. ton w 2050 r. w procesie SMR z CCS.

Bez wdrożenia technologii CCUS, uzyskanie wsparcia dla produkcji wodoru z paliw kopalnych nie będzie możliwe. Dotyczy to zarówno regulacji na szczeblu europejskim, jak i krajowym. **W przypadku reformingu parowego gazu ziemnego z CCUS, wpisuje się on w definicję tzw. wodoru niskoemisyjnego, czyli takiego któremu towarzyszy emisja gazów cieplarnianych na poziomie poniżej 3 ton CO_{2,eq} na tonę H₂.** Z drugiej strony, produkcja wodoru „szarego”, czyli z wykorzystaniem paliw kopalnych, wynosi dzisiaj łącznie w Polsce ok. 1 miliona ton na rok i jest to prawie 100% wolumenu produkcyjnego. Bez wdrożenia technologii CCUS w ramach istniejących jednostek, potencjał ten może zostać utracony, zarówno z punktu widzenia zapotrzebowania na wodór

odnawialny lub niskoemisyjny, jak również kolejne restrykcyjne regulacje w tym zakresie. Stąd też kluczowe jest, aby w miarę możliwości technologicznych i organizacyjnych, przy zachowaniu uzasadnienia biznesowego, technologie CCUS znajdowały swoje zastosowanie w sektorze produkcji wodoru. **Działania te mają charakter uzupełniający wobec podaży wodoru odnawialnego i powinny być realizowane równolegle.** A dzięki utrzymaniu skali produkcji wodoru, już jako niskoemisyjnego, liczyć można na obniżenie kosztów – przez efekt synergii – wdrażania gospodarki wodorowej w Polsce.

Tabela 5. Działania priorytetowe i cele cząstkowe wdrożenia CCS w produkcji wodoru

DZIAŁANIA PRIORYTETOWE I CELE CZĄSTKOWE	
2030	2035
4.1. Przygotowanie założeń dla wielkoskalowego wdrożenia technologii CCUS w sektorze produkcji wodoru z perspektywą do roku 2050	4.4. Wyposażenie układów konwencjonalnych produkcji wodoru z paliw kopalnych w instalacje CCUS dla min. 40% wolumenu produkcji H₂ z tego źródła
4.2. Uruchomienie pierwszej instalacji komercyjnej do wychwytu CO₂ dla jednostki produkcji wodoru opartej o reforming gazu zimnego o wolumenie min. 75 tys. ton H ₂ na rok (ok. 600 tys. ton CO ₂ na rok)	
4.3. Zakwalifikowanie projektów produkcji „niebieskiego” wodoru do wsparcia finansowego w ramach węglowych kontraktów różnicowych o wydajności min. 300 tys. ton H₂ na rok (ok. 2,5 mln ton CO₂ na rok)	
2040	2050
4.5. Wyposażenie układów konwencjonalnych produkcji wodoru z paliw kopalnych w instalacje CCUS dla min. 75% wolumenu produkcji H₂ z tego źródła	4.6. Wyposażenie układów konwencjonalnych produkcji wodoru z paliw kopalnych w instalacje CCUS dla 100% wolumenu produkcji H₂ z tego źródła

CEL 5: ROZWÓJ INFRASTRUKTURY TRANSPORTOWEJ W OPARCIU O ROZWIĄZANIA HUBOWE

Rozwój infrastruktury transportowej i terminala eksportowo-importowego w Gdańsku. Rozwój infrastruktury transportowej dwutlenku węgla będzie niezbędnym elementem pozwalającym na połączenie emitentów ze składowiskami lub hubem importowo-eksportowym dwutlenku węgla. Celem niniejszego dokumentu strategicznego, na bazie wyników analiz scenariusza CCS, jest oddanie do użytku równolegle do pierwszego składowiska CO₂ na lądzie, tj. w latach 2030-2035, **sieci rurociągów transportowych łączących emitentów dwutlenku węgla o przepustowości od 6 do nawet**

16 mln ton rocznie. Po 2035 r. nastąpi rozwój **sieci transportowych osiągając łączną przepustowość od 20 do 50 mln ton rocznie w latach 2040 – 2050.** Łączyć będą one emitentów z miejscami składowania CO₂ oraz terminalem importowo-eksportowym dwutlenku węgla powstającym w Gdańsku. Przepustowość i długość sieci do transportu CO₂ stanowić będzie wynikową projektów wychwyty CO₂, ich lokalizacji oraz wskazanych miejsc składowania dwutlenku węgla. W przypadku zidentyfikowania takiego zapotrzebowania zbudowana zostanie również sieć transgraniczna łącząca Polskę m.in. z Litwą lub Republiką Czeską.

Rozwój infrastruktury transportowej powinien być zorganizowany w układzie hubów, uwzględniający powiązania klastrów wychwyty CO₂ z hubami składowania (magazynowania) dwutlenku węgla. Z uwagi na aktualny stan rozwoju technologii CCUS w Polsce, zakłada się, że **do roku 2030 nie powstanie żadna nowa infrastruktura do transportu rurociągowego dwutlenku węgla w ujęciu hubowym.** Rozważana powinna być jednak opcja wykorzystania transportu rurociągowego do połączenia dwóch pierwszych projektów CCS w Polsce – projektu GO4ECOPLANET i ECO2CEE, czyli instalacji wychwyty CO₂ w cementowni w Kujawach oraz terminala eksportowo-importowego zlokalizowanego w Gdańsku. W ramach tych projektów rozważana jest opcja transportu kolejowego, która dla aktualnych uwarunkowań krajowych jest jedyną formą pozwalającą na realizację pełnego łańcucha technologii CCUS. **W 2025 roku powinna zostać podjęta wiążąca decyzja w zakresie formy transportu dla tych projektów – dając potencjał na pilotaż transportu CO₂ o wydajności 1 mln ton CO₂ / rok przed 2030 rokiem.**

Docelowy **model funkcjonowania hubów transportu CO₂ zakłada budowę 3 głównych hubów transportu CO₂ na terenie kraju,** obsługujących klastry energetyczno-przemysłowe wychwyty CO₂. Są to huby południowo-zachodni (głównie województwa opolskie, śląskie, wielkopolskie i łódzkie); południowo-wschodnio-centralny (głównie województwa małopolskie, świętokrzyskie i lubelskie); oraz północny (głównie województwa kujawsko-pomorskie i pomorskie). **Ich docelowy kształt będzie wynikiem pogłębionych prac w zakresie klastrowania emitentów oraz dostępnych lokalizacji do składowania CO₂,** a prace te powinny zostać zakończone **przed 2028 rokiem.** Istnieje również potencjał do budowy lokalnych hubów transportu rurociągowego CO₂ w obszarze Podkarpacia oraz województwa zachodniopomorskiego, jak również budowa ogólnokrajowego multimodalnego hubu transportu CO₂ opartego głównie o transport kolejowy i dedykowanego dla mniejszych, punktowych wolumenów wychwyconego CO₂, które mogą być połączone zarówno z hubami głównymi, lokalnymi, jak również terminalami eksportowo-importowymi.

Łączna długość docelowych inwestycji w ramach 3 głównych hubów transportowych wyniesie 700 do 1000 km. Średnice rur transportowych od 200 mm do 800 mm, przy zakresie ciśnień od 9 do 15 MPa. W pierwszej kolejności rozważona zostanie **opcja współdzielenia z istniejącymi operatorami transportowymi gazu ziemnego w celu wykorzystania stref ochronnych istniejących gazociągów.**

Tabela 6. Działania priorytetowe i cele cząstkowe dla rozwoju infrastruktury do transportu CO₂

DZIAŁANIA PRIORYTETOWE I CELE CZĄSTKOWE	
2030	2035
<p>5.1. Przygotowanie założeń dla budowy hubów transportu rurociągowego dwutlenku węgla z perspektywą rozwoju do roku 2050</p> <p>5.2. Uruchomienie pierwszej sieci transportu CO₂ opartej o transport kolejowy lub bezpośrednią linię rurociągową dla projektów CCS będących w eksploatacji na 2030 rok</p> <p>5.3. Zakwalifikowanie pierwszych projektów hubów transportowych CO₂ do wsparcia finansowego w ramach środków publicznych dedykowanych dla infrastruktury krytycznej</p> <p>5.4. Uruchomienie terminala eksportowo-importowego CO₂ zlokalizowanego w Gdańsku o przepustowości co najmniej 3 mln ton CO₂</p> <p>5.5. B+R w zakresie wykorzystania istniejącej sieci gazu ziemnego do transportu CO₂</p>	<p>5.6. Uruchomienie sieci szkieletowej transportu CO₂ dla hubów głównych obejmującej sieci magistralne oraz podłączenia rurociągami odcinkowymi punktów wychwyconego dwutlenku węgla w ramach przyszłych klastrów energetyczno-przemysłowych</p>
2040	2050
<p>5.7. Uruchomienie docelowych hubów transportu CO₂, w tym w pełni zintegrowanych rozwiązań multimodalnych wykorzystujących transport kolejowy i drogowy</p> <p>5.8. Uruchomienie projektów importu CO₂ do Polski poprzez terminal eksportowo-importowy w Gdańsku oraz rurociągowie połączenia transgraniczne</p>	

CEL 6: BEZPIECZNE MAGAZYNOWANIE DWUTLENKU WĘGLA

Rozwój infrastruktury podziemnego składowania dwutlenku węgla *onshore i offshore*. Rozwój zdolności do podziemnego zatłaczania dwutlenku węgla na obszarach lądowych będzie kluczowym elementem budowy łańcucha wartości CCS w Polsce definiującym również jego opłacalność. Celem niniejszego dokumentu strategicznego jest wskazanie zdolności zatłaczania dla projektów zlokalizowanych możliwie najbliżej zakładów przemysłowych i wystarczających do pokrycia ich zapotrzebowania na tę usługę. Z związku z tym pierwszym etapem realizacji celu, zgodnie ze

scenariuszem CCS, będzie zapewnienie zdolności zatłaczania w wyczerpanych złożach węglowodorów. Następnie powinien nastąpić dynamiczny rozwój pozwalający na zatłaczanie do określonego potencjału **50 mln ton dwutlenku węgla rocznie od 2040 r.** Przy spełnieniu wymagań w zakresie bezpieczeństwa procesu zatłaczania oraz potwierdzeniu pojemności magazynowanych, projekty te mogą opierać się o wykorzystanie wyczerpanych złóż węglowodorów. Po 2040 r. uruchomione zostaną również na szerszą skalę **podziemne składowiska w dedykowanych formacjach wodonośnych o zdolności zatłaczania kilku mln ton rocznie.** Rozwiązanie to przejmie jednak w następnych latach wiodącą rolę i w perspektywie 2050 r. do formacji solankowych zatłaczane będzie prawie 50 mln ton rocznie. Łącznie do 2050 r. zdolności zatłaczania na obszarach lądowych osiągną w Polsce wolumen 70 mln ton rocznie. W przypadku zidentyfikowania zainteresowania importem do Polski dwutlenku węgla z państw ościennych wolumen ten zostanie zwiększony do 80 mln ton rocznie. Wyniki analiz scenariusza CCS wynikają z potencjalnie niższego kosztu magazynowania CO₂ w wyczerpanych złożach węglowodorów przyjętych w modelu, natomiast nie konieczne stanowią one realną formułę realizacji tego typu projektów w Polsce. Ocena potencjału poszczególnych formacji geologicznych możliwa jest dopiero po przeprowadzeniu szczegółowych analiz, obejmująca badania przygotowawcze geofizyczne, geologiczne, geochemiczne, geomechaniczne, hydromechaniczne, modelowe oraz wiercenia i testy potwierdzające rozległość struktur, zachowanie się skały podczas zatłaczania i potwierdzenia bezpieczeństwa procesu składowania CO₂. **Dotychczasowy potencjał magazynowania oszacowany został w 2012 roku przez PIG-PIB³⁹ i wyniósł do 14 495 mln ton w składowiskach wodonośnych i 1 021 mln ton w wyczerpanych złożach węglowodorów.** Podane wartości pochodzą z szacowania pojemności metodami statycznymi i obarczone jest dużą niepewnością. Zasoby te powinny być oszacowane przez inne metody (dynamiczne metody).

Do roku 2030 nie jest możliwe uruchomienie komercyjnego zatłaczania CO₂ **do warstw wodonośnych, z wyjątkiem uruchomienia 3 – 4 pilotażowych instalacji** sprawdzających warunki hydrogeologiczne i warunki szczelności wytypowanych struktur do składowania. Założono, że maksymalne zatłoczenie CO₂ do tych badanych struktur **nie przekroczy sumarycznie 200 tyś. ton CO₂ do roku 2030.** W odniesieniu **do wyczerpanych złóż węglowodorów onshore,** do 2030 roku, założono przeprowadzenie **projektów pilotażowych na 1 – 2 koncesjach węglowodorowych onshore** o wydajności łącznej **do 200 tyś. ton CO₂ rocznie.** Zaplanowano również uruchomienie zatłaczania **do struktur offshore na Morzu Bałtyckim – do 200 tyś. ton CO₂ (rocznie) przed rokiem 2030.** Warunkami uruchomienia tych projektów pilotażowych jest zapewnienie podaży dwutlenku węgla w ramach powstających projektów wychwyty CO₂ ze źródeł przemysłowych i energetycznych, jak również uruchomienie terminala morskiego.

Wyzwania związane z rozwojem projektów magazynowania CO₂ w formacjach geologicznych, w tym wykorzystania adekwatnych złóż, sprowadza się w perspektywie 2030 roku do konieczności przeprowadzenia projektów pilotażowych w perspektywnych regionach kraju. W przypadku powodzenia tych prac, **w latach 2030 – 2040 możliwe jest wykorzystanie struktur solankowych dolnej jury do składowania od 20 do 30 mln ton CO₂ rocznie, natomiast dla struktur pogazowych do 6 – 8**

³⁹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy

mln ton CO₂ na rok. Wolumen ten powinien pokryć podaż wychwyconego dwutlenku węgla głównie ze źródeł przemysłowych z uzupełnieniem funkcjonowania terminala eksportowo-importowego.

Tabela 7. Działania priorytetowe i cele cząstkowe dla rozwoju magazynowania CO₂

DZIAŁANIA PRIORYTETOWE I CELE CZĄSTKOWE	
2030	2035
<p>6.1. Zakończenie prac przygotowawczych potwierdzających pojemność i bezpieczeństwo procesu magazynowania CO₂ dla wskazanych w Rozporządzeniu potencjalnych lokalizacji na lądzie i morzu</p> <p>6.2. Przygotowanie założeń dla magazynowania dwutlenku węgla z perspektywą rozwoju do roku 2050</p> <p>6.3. Uruchomienie pierwszych projektów pilotażowych składowania CO₂ na lądzie (<i>onshore</i>) w warstwach wodonośnych o łącznym wolumenie zatoczonego dwutlenku węgla do 200 tyś. ton</p> <p>6.4. Uruchomienie pierwszych projektów pilotażowych składowania CO₂ na lądzie (<i>onshore</i>) w wyczerpanych złożach węglowodorów o łącznym wolumenie zatoczonego dwutlenku węgla do 200 tyś. ton</p> <p>6.5. Uruchomienie pierwszych projektów pilotażowych składowania CO₂ na morzu (<i>offshore</i>) w wyczerpanych złożach węglowodorów o łącznym wolumenie zatoczonego dwutlenku węgla do 200 tyś. ton</p> <p>6.6. Zakwalifikowanie pierwszych projektów komercyjnych magazynowania CO₂ do wsparcia finansowego w ramach środków publicznych dedykowanych dla infrastruktury krytycznej</p> <p>6.7. B+R w zakresie poprawy bezpieczeństwa magazynowania CO₂, w tym monitorowania i weryfikacji szczelności złóż</p>	<p>6.9. Uruchomienie pierwszych dwóch wielkoskalowych projektów komercyjnych magazynowania CO₂ dla głównych hubów transportowych i bezpieczne oraz permanentne zatłoczenie min. 3 mln ton CO₂ zamykających pełnych łańcuch technologii CCUS dla docelowego modelu w Polsce</p> <p>6.10. Osiągnięcie wysokiego stopnia zaawansowania projektów magazynowania CO₂ dla wszystkich hubów transportowych funkcjonujących na terenie kraju</p>

6.8. Pozyskanie dostępu do źródeł magazynowania CO ₂ poza obszarem Polski, w tym zawarcie stosowanych umów i porozumień bilateralnych na poziomie rządowym i biznesowym	
2040	2050
6.11. Osiągnięcie łącznej wydajności zatłaczania CO ₂ do formacji geologicznych w Polsce (onshore i offshore) na poziomie min. 15 mln ton na rok, w tym w pełni zintegrowanych z funkcjonującymi hubami transportowymi	6.12. Osiągnięcie docelowej łącznej wydajności zatłaczania CO ₂ do formacji geologicznych w Polsce (onshore i offshore) na poziomie min. 20 mln ton na rok, w tym w pełni zintegrowanych z funkcjonującymi hubami transportowymi

CEL 7: WYKORZYSTANIE TECHNOLOGII CCUS DO POZYSKANIA UJEMNYCH EMISJI CO₂

W Polsce istnieje realne zapotrzebowanie na technologie usuwania CO₂ z atmosfery – chociażby z punktu widzenia celów neutralności klimatycznej 2050, gdzie usuwanie CO₂ z atmosfery będzie bilansować niemożliwie do wyeliminowania emisje antropogenicznego dwutlenku węgla. Wychwycony dwutlenek węgla bezpośrednio z powietrza lub ze źródeł wykorzystujących bioenergię będzie również cennym surowcem do procesów jego gospodarczego wykorzystania (Cel nr 8) w produkcji paliw syntetycznych. Podaż na ujemne emisje CO₂ będzie pochodzić z wychwyconego dwutlenku węgla bezpośrednio z powietrza przez **technologie DACCS (z ang. Direct Air Carbon Capture and Storage)** lub zbilansowany przez przejście do korzystania z bioenergii w procesach energetycznych i przemysłowych zintegrowanych z wychwytem i przejścia na **BECCS (z ang. Bioenergy Carbon Capture and Storage)**. Technologie te nie były jednak bezpośrednio ujęte w analizach dla scenariusza CCS, z uwagi na niski poziom gotowości technologicznej lub wyzwania w zakresie zapewnienia adekwatnych wolumenów zrównoważonej biomasy do wykorzystania w instalacjach BECCS.

Niewątpliwym priorytetem dla technologii BECCS w Polsce jest tzw. **Zielony Blok w Połańcu** (uruchomiony w 2012 roku), który mógłby stać się odpowiednikiem projektu Drax BECCS w Wielkiej Brytanii. Z uwagi na wiek tej jednostki, jak również przyjęte uwarunkowania rozwoju sektora CCUS w Polsce przedstawionych w dokumencie strategicznym, **nie został on ujęty w ramach działań priorytetowych**. Dla innych obiecujących rozwiązań z grupy technologii BECCS należą **cementownie i zakłady wapiennicze**, które już dzisiaj mają (lub będą mieć w horyzoncie 2030 roku), w swojej strukturze paliwowej źródła bioenergii. Dla technologii CCUS, wolumen ujemnej emisji CO₂ w oparciu o BECCS wyznaczono na 1,2 mln ton CO₂ w 2035 roku (z udziału biokomponentów w paliwach wykorzystywanych w cementowni i zakładach wapienniczych). **Dla roku 2040** wartości te ulegają zwiększeniu z uwagi na rozwój projektów CCUS w sektorze cementowym i wapienniczym, jak również integracji instalacji do wychwytu CO₂ z Instalacjami Termicznego Przekształcania Odpadów oraz projekty BECCS w sektorze energetyki komunalnej (elektrociepłownie komunalne na biomasę z wychwytem CO₂) i przemyśle papierniczym dając finalnie wartości do **7 mln ton CO₂ na rok usuniętego**

CO₂ z atmosfery (co stanowi ok. 60% aktualnej szacowanej emisji zorganizowanej CO₂ ze źródeł biogenicznych w Polsce⁴⁰).

Technologie DACCS będą rozwijać się w Polsce dopiero w momencie wystąpienia realnego znaczącego obniżenia emisyjności miks energetyczny lub w oparciu o realne nadwyżki OZE w systemie elektroenergetycznym wraz z wykorzystaniem źródeł ciepła odpadowego⁴¹. **Do 2040 roku perspektywy dla DACCS są bardzo ograniczone (poza sferą badawczo-rozwojową)**. Realne nadwyżki energii elektrycznej pochodzącej z odnawialnych lub zero-emisyjnych źródeł energii, niezbędne do realizacji procesów DACCS i realnego usuwania dwutlenku węgla w pełnym łańcuchu oceny energetycznej i ekologicznej, nie trafią do instalacji DACCS w pierwszej kolejności – biorąc chociażby pod uwagę plany sformułowane w Polskiej Strategii Wodorowej. Stąd też wdrożenie technologii DACCS na skalę komercyjną nastąpi w Polsce po 2045 roku, a skala zależna będzie od potrzeb krajowych w zakresie bilansu emisji CO₂, w tym również rozwoju samych projektów BECCS.

Tabela 8. Działania priorytetowe i cele cząstkowe wdrożenia technologii BECCS i DACCS

DZIAŁANIA PRIORYTETOWE I CELE CZĄSTKOWE	
2030	2035
<p>7.1. Przygotowanie założeń rozwoju technologii BECCS w przemyśle cementowym i wapienniczym oraz energetyce komunalnej z perspektywą do roku 2040</p> <p>7.2. Zwiększenie wykorzystania paliw biomasowych w miksie paliwowym zakładów przemysłowych sektora wapienniczego i cementowego – zgodnie z działaniem 1.4</p> <p>7.3. B+R w zakresie technologii DACCS w obszarze rozwoju technologii oraz integracji w ramach procesów przemysłowych</p>	<p>7.4. Osiągnięcie pułapu ujemnej emisji 1,2 mln ton CO₂ w ramach projektów CCS w przemyśle wapienniczym i cementowym</p> <p>7.5. Uruchomienie projektów pilotażowych dla technologii DACCS w ramach działalności badawczo-rozwojowej</p>
2040	2050
<p>7.6. Pułap ujemnej emisji 3 mln ton CO₂ na rok w ramach projektów CCS w przemyśle wapienniczym i cementowym</p> <p>7.7. Pułapu ujemnej emisji 4 mln ton CO₂ na rok w ramach dedykowanych projektów BECCS</p>	<p>7.9. Pułapu ujemnej emisji CO₂ połączonej z magazynowaniem w formacjach geologicznych, w ramach projektów DACCS i BECCS, niezbędnej z punktu widzenia spełniania unijnych celów neutralności klimatycznej dla Polski</p>

⁴⁰ Assessment of European biogenic CO₂ balance for SAF production. ERM Worldwide Group, Final report, 2022

⁴¹ Gładysz, P.; Strojny, M.; Bartela, Ł.; Hacaga, M.; Froehlich, T. Merging Climate Action with Energy Security through CCS—A Multi-Disciplinary Framework for Assessment. Energies 2023, 16, 35. <https://doi.org/10.3390/en16010035>

<p>w sektorze energetyki komunalnej, termicznego przekształcania odpadów oraz przemysłu papierniczego</p> <p>7.8. Uruchomienie projektu demonstracyjnego technologii DACCS zintegrowanej z odnawialnymi źródłami energii i/lub energią odpadową w ramach zakładu przemysłowego o wydajności 50 tys. ton CO₂ na rok</p>	<p>7.10. Podaż krajowego wychwyconego CO₂ ze źródeł biogenicznych lub bezpośrednio z powietrza dla procesów gospodarczego wykorzystania dwutlenku węgla</p>
---	---

CEL 8: GOSPODARCZE WYKORZYSTANIE DWUTLENKU WĘGLA (CCU)

Aktualnie rozwój technologii CCUS skupia się w klastrach energetyczno-przemysłowych, do których należą podmioty związane z wszystkimi gałęziami gospodarki. Obejmuje on działania po wychwycie CO₂ z różnych źródeł oraz budowy sieci transportowej i magazynowanej (w ujęciu hubowym). Uzupełnieniem tych działań klastrowych jest **budowa łańcucha technologii CCU** (z ang. Carbon Capture and Utilisation), który może być zlokalizowany **w obszarze działalności klastrów energetyczno-przemysłowych**.

Poprzez innowacyjne technologie i procesy, dwutlenek węgla może być przekształcony w różnorodne produkty, takie jak paliwa syntetyczne, chemikalia, materiały budowlane czy polimery. Działania te wpisują się w globalne wysiłki na rzecz redukcji emisji, równocześnie tworząc nowe możliwości rynkowe i przyczyniając się do rozwoju Gospodarki Obiegu Zamkniętego (GOZ). **Priorytetem do roku 2035 będzie produkcja syntetycznego paliwa lotniczego (SAF, z ang. Sustainable Aviation Fuel)**, którego udział w tym roku powinien wynosić 20%. Produkcja paliwa lotniczego w Polsce wyniosła w 2023 roku 1,5 mln m³, co przy założeniu zapotrzebowania na dwutlenek węgla do produkcji SAF wynoszącego ok. 4,1 ton CO₂ na tonę SAF daje łącznie – z perspektywą 20% udział w 2035 roku – górną granicę popytu wynoszącą 1 mln ton.

Rzeczony technologii CCU wymaga intensyfikacji badań i wdrażania innowacyjnych metod **przekształcania CO₂ w produkty o wysokiej wartości rynkowej**. Kluczowym kierunkiem działań będzie rozwój procesów chemicznych, umożliwiających **produkcję paliw syntetycznych**, np. **metanolu**, oraz podstawowych chemikaliów, takich jak kwas mrówkowy. Równolegle rozwijane będą **technologie biologiczne**, takie jak wykorzystanie mikroorganizmów i alg do biokonwersji CO₂ w biopolimery, biopaliwa czy inne związki organiczne. Zastosowanie nowoczesnych technologii pozwoli na poprawę efektywności procesów, obniżenie kosztów produkcji oraz ograniczenie zużycia surowców pierwotnych. Ważnym elementem będzie także **rozwój materiałów budowlanych na bazie CO₂**, takich jak beton karbonatyzowany, który nie tylko pochłania dwutlenek węgla w procesie produkcji, ale również cechuje się wyższą trwałością i mniejszym śladem węglowym. Kolejnym kierunkiem będzie **synteza polimerów i kompozytów**, które znajdują zastosowanie w przemyśle motoryzacyjnym, lotniczym i budowlanym. Poprzez włączenie CO₂ jako surowca do procesów przemysłowych, możliwe jest nie tylko zmniejszenie emisji, ale także **stworzenie nowego segmentu produktów opartych na gospodarce obiegu zamkniętego**.

Rozwój ten wymagać będzie wdrożenia odpowiednich **mechanizmów wsparcia, które stymulują popyt** oraz zachęcają do inwestycji w nowe technologie. Należy więc wprowadzić regulacji promujących wykorzystanie produktów na bazie CO₂ w sektorach takich jak budownictwo, transport i przemysł chemiczny, które zwiększą zainteresowanie ze strony przedsiębiorstw. Istotnym elementem będzie **certyfikacja i standaryzacja produktów wytworzonych z CO₂**, jako kluczowa składowa budowy zaufania konsumentów i inwestorów. Należy wprowadzić ujednolicenie norm jakościowych oraz opracowanie oznaczeń ekologicznych ułatwi identyfikację i promocję tych produktów na rynku.

Z uwagi na stan rozwoju technologii gospodarczego wykorzystania CO₂, **konieczna jest realizacja projektów pilotażowych i demonstracyjnych**, która w perspektywie 2035 roku odegra kluczową rolę w przygotowaniu uzasadnienia biznesowego i środowiskowego w rzeczywistych warunkach przemysłowych. Projekty te **w perspektywie 2030 roku koncentrować się będą na produkcji paliw syntetycznych**, takich jak wodór, metanol lub SAF, a które wykorzystują CO₂ jako surowiec w procesach zasilanych energią odnawialną, w tym zielonym wodorem. Projekty demonstracyjne w latach 2030 – 2035, w ramach integracji pełnego łańcucha wartości technologii CCU, pozwolą na wykorzystanie dostępnego wolumenu dwutlenku węgla pochodzenia biologicznego do testowanie innowacyjnych technologii w integracji z klastrami energetyczno-przemysłowymi. Wsparcie takich projektów, zarówno poprzez fundusze publiczne, jak i partnerstwa publiczno-prywatne, pozwoli na stworzenie podstaw dla dalszego rozwoju technologii oraz ich **komercjalizacji po 2035 roku**.

Tabela 9. Działania priorytetowe i cele cząstkowe wdrożenia technologii CCU

DZIAŁANIA PRIORYTETOWE I CELE CZĄSTKOWE	
2030	2035
8.1. Przygotowanie założeń rozwoju technologii CCU z perspektywą do roku 2040	8.4. Uruchomienie instalacji komercyjnych produkcji SAF i paliw syntetycznych
8.2. Uruchomienie projektu demonstracyjnego produkcji syntetycznych paliw lotniczych z wykorzystaniem dwutlenku węgla	8.5. Uruchomienie projektów demonstracyjnych gospodarczego wykorzystania CO ₂ w pozostałych sektorach (m.in. materiałów budowlanych)
8.3. B+R w zakresie technologii CCU w obszarze rozwoju zdywersyfikowanych ścieżek gospodarczego wykorzystania CO ₂ oraz integracji w ramach procesów przemysłowych	8.6. Min. 50% udział biogenicznego CO₂ pochodzenia krajowego w ramach komercyjnych i demonstracyjnych projektów CCU
2040	2050
8.7. Udziału gospodarczego wykorzystania CO ₂ w wolumenie wychwyconego CO₂ pochodzenia biologicznego na poziomie min. 50%	8.9. Udział gospodarczego wykorzystania CO ₂ w całkowitym wolumenie wychwyconego CO₂ na poziomie min. 35%

8.8. Udział gospodarczego wykorzystania CO ₂ w całkowitym wolumenie wychwyconego CO ₂ na poziomie min. 15%	
--	--

CEL 9: OTOCZENIE REGULACYJNE DLA PEŁNEGO ŁAŃCUCHA TECHNOLOGII CCUS

Aktualne otoczenie regulacyjne w Polsce nie pozwala na realizację pełnego łańcuch technologii CCUS. Ustawa z dnia 16 czerwca 2023 r. o zmianie ustawy - *Prawo geologiczne i górnicze oraz niektórych innych ustaw* wprowadziła szereg zmian do Prawa geologicznego i górniczego oraz Prawa energetycznego, które przybliżają realizację projektów CCS w Polsce. **Wymagane są dalsze działania związane z dokończeniem procesu zmian w ustawie Prawo geologiczne i górnicze**, szczególnie w obszarze konkretnych Rozporządzeń.

Misją państwa polskiego, z punktu widzenia rozwoju gospodarczego z poszanowaniem ochrony środowiska i klimatu, powinien być rozwój zrównoważonego i dochodowego rynku technologii CCUS w Polsce poprzez tworzenie środowiska politycznego i gospodarczego, które sprzyja rozwojowi i komercjalizacji technologii wychwyty CO₂ oraz ogólnopolskiej infrastruktury jego transportu i składowania, przyczyniając się tym samym do integracji rządowych i przemysłowych strategii redukcji emisji. Stąd też celami strategicznymi polskiego rządu powinno być wsparcie dla uruchomienia projektów komercyjnych technologii wychwyty CO₂ ze źródeł energetycznych i przemysłowych, jak również **powołanie operatorów transportu i składowania CO₂**.

Do działań priorytetowych w zakresie Celu nr 9 należy:

- 9.1.** przyjęcie rządowej **Strategii rozwoju technologii wychwyty, transportu, utylizacji i składowania dwutlenku węgla** w Polsce do końca 2025 roku;
- 9.2.** opracowanie, w konsultacjach z interesariuszami, **legislacyjnego pakietu dla technologii CCUS**, tworzącego podstawy funkcjonowania tego sektora do końca 2026 roku;
- 9.3.** przyjęcie legislacyjnego pakietu dla technologii CCUS, określającego **szczegóły funkcjonowania sektora wraz z implementacją prawa Unii Europejskiej oraz mechanizmów wsparcia dla rozwoju** w latach 2025 – 2030.

DZIAŁANIA HORYZONTALNE

Poza wskazanymi działaniami i celami częściowymi określonymi dla dziewięciu celów dokumentu strategicznego, konieczne jest podjęcie działań o charakterze horyzontalnym. Dotyczą one kluczowych barier, zagrożeń i warunków dla rozwoju technologii CCUS w Polsce:

- 10.1. Budowa świadomości i akceptacji społecznej technologii w Polsce.** Znajomość technologii CCUS w Polsce pozostaje na niskim poziomie, co może rodzić ryzyko dezinformacji i w efekcie negatywnego nastawienia społeczności lokalnych. Dlatego celem niniejszego dokumentu strategicznego jest zapewnienie jak najszerszej rozpoznawalności technologii CCUS w skali całego społeczeństwa oraz jak najwyższej akceptacji wśród społeczności lokalnych

zamieszkujących najbliższe okolice miejsc podziemnego zatłaczania dwutlenku węgla. Do 2030 r. opracowany zostanie plan zagospodarowania podziemnych składowisk dwutlenku węgla w Polsce wraz z harmonogramem ich otwierania umożliwiający rozpoczęcie wcześniejszych konsultacji ze społecznościami lokalnymi. Celem tych konsultacji będzie uzyskanie akceptacji społeczności lokalnych na powstanie w ich sąsiedztwie podziemnych składowisk dwutlenku węgla. Jeszcze przed 2030 r. rozpoczęta zostanie szeroka, ogólnokrajowa kampania informacyjna. W efekcie przeprowadzonej ogólnopolskiej kampanii nastąpi wzrost zrozumienia czym jest CCUS, jak i akceptacji społecznej dla tej technologii. Konieczne jest określenie podmiotu odpowiedzialnego za realizację tego działania w strukturach rządowych, jak również nawiązanie współpracy z interesariuszami, którzy mogą przyczynić się do budowy pozytywnego wizerunku technologii CCUS. Wskaźniki skuteczności kampanii zostaną określone z podmiotem ją realizującym i powinny być weryfikowane w sposób ciągły w ramach programu **monitorowania i budowy akceptacji społecznej dla technologii CCUS w Polsce na lata 2025 - 2030**.

10.2. Budowa kompetencji polskich przedsiębiorstw. Jednym z celów dokumentu strategicznego jest również zapewnienie udziału polskich przedsiębiorstw w realizacji przedsięwzięć związanych z technologiami CCUS. Stąd polskie firmy będą zaangażowane w realizację zadań pełnego krajowego łańcucha wartości w roli wykonawców i podwykonawców w fazie konstrukcyjnej, jak też dostawców i poddostawców elementów instalacji. We wszystkich realizowanych w Polsce projektach CCUS udział polskich firm (*local content*) wyniesie minimum 50% wartości projektów po stronie wychwytu i utylizacji CO₂ oraz minimum 75% wartości projektów po stronie transportu i składowania CO₂.

10.3. Dostęp do odnawialnych źródeł energii dla technologii CCUS. Technologie CCUS, a w szczególności wychwyt i utylizacja CO₂, **charakteryzują się wysokim zapotrzebowaniem na energię**, co oznacza, że źródło zasilania staje się kluczowym elementem efektywnej środowiskowo i ekonomicznie zrównoważonej redukcji emisji gazów cieplarnianych w ujęciu netto. Wykorzystanie **odnawialnych źródeł energii (m.in. energii elektrycznej, energii chemicznej, ciepła procesowego, wodoru)** do zasilania procesów CCUS nie tylko minimalizuje emisje związane z ich działaniem, ale także eliminuje zależność od paliw kopalnych, wpisuje się w globalne cele dekarbonizacji. Zastosowanie OZE w ramach procesów technologii CCUS pozwala osiągnąć oczekiwaną redukcję emisji w pełnym łańcuchu życia tych projektów. Energia z odnawialnych źródeł energii, dzięki zerowemu lub bardzo niskiemu śladowi węglowemu, **umożliwi certyfikację technologii CCUS jako zrównoważonych**, co wspiera ich wdrożenie również w obszarze dostępu do zewnętrznych środków finansowych. W rezultacie, technologie CCUS oparte o **niskoemisyjne i odnawialne źródła energii** staną się istotnym elementem transformacji energetycznej i przemysłowej zrównoważonego zarządzania emisjami dwutlenku węgla, przyczyniając się do budowy gospodarki neutralnej klimatycznie w perspektywie 2050 roku.

3.3 Wskaźniki strategii

Poniżej przedstawiono listę kluczowych wskaźników dla dokumentu strategicznego. Wartość bazowa na 2024 roku dla wszystkich wskaźników wynosi 0.

Nazwa wskaźnika	Jednostka	Wartość docelowa (2030)	Wartość docelowa (2035)
Łączna redukcja emisji CO₂ poprzez wychwyt ze źródeł przemysłowych	mln ton CO ₂	2	15
Łączna wydajność produkcji niebieskiego wodoru	tyś. ton H ₂ na rok	75	300
Liczba instalacji komercyjnych do wychwytu CO ₂ ze źródeł przemysłowych	szt.	2	5
Łączna przepustowość wszystkich form transportu CO₂ na terenie kraju	mln ton CO ₂ na rok	1,5	8
Łączna długość rurociągów do transportu CO ₂	km	0	400
Łączna zdolność do eksportu CO₂	mln ton CO ₂ na rok	2	3
Łączna ilość składowanego CO₂ na terenie kraju	mln ton CO ₂	0,6	10
Liczba klastrów i hubów energetyczno-przemysłowych technologii CCUS	szt.	2	3

3.4 Wdrażanie strategii

3.4.1 DZIAŁANIA LEGISLACYJNE

Niezbędne zmiany aktów prawnych w obszarze składowania CO₂. Mimo nowelizacji w 2023 r. ustawy Prawo górnicze i geologiczne (p.g.g.) wciąż konieczne są dalsze zmiany w prawie krajowym odblokowujące rozwój CCUS w Polsce. Do najważniejszych aktów prawnych, które zostaną przyjęte lub zmienione należą:

- Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska w sprawie obszarów, na których dopuszcza się lokalizowanie kompleksu podziemnego składowania dwutlenku węgla, które w obecnej formie jako jedyne dopuszczone miejsce składowania dwutlenku węgla wskazuje zbiornik kambryjski zlokalizowany w polskiej wyłącznej strefie ekonomicznej na Morzu Bałtyckim. Stanowi to oczywistą barierę dla rozwoju projektów składowania w Polsce.
- Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska w sprawie zabezpieczenia finansowego i zabezpieczenia środków związanych z podziemnym składowaniem dwutlenku węgla, które definiuje formę i sposób wyliczania zabezpieczenia finansowego, jakie musi wnieść inwestor w przypadku działalności polegającej na podziemnym składowaniu dwutlenku węgla. W obecnym kształcie wysokość narzucanych wymagań co do zabezpieczenia negatywnie wpływa na rentowność i może odwrócić interesariuszy od realizacji projektów podziemnego składowania CO₂. Zapisy rozporządzenia zostaną poddane analizie pod kątem racjonalności jego zapisów, a następnie podjęte zostaną działania mające na celu ich optymalizację umożliwiającą uzyskanie rentowności przedsięwzięcia przy jednoczesnym zabezpieczeniu interesu publicznego.
- Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących eksploatacji podziemnego składowiska dwutlenku węgla, zatłaczanego strumienia dwutlenku węgla oraz prowadzenia monitoringu kompleksu podziemnego składowania dwutlenku węgla z adekwatnymi zapisami ustawy Prawo górnicze i geologiczne, które definiują strumień dwutlenku węgla oraz parametry techniczne gazu. Istnieją wątpliwości, czy w obecnym brzmieniu przepisy te przystają do obecnego stanu zaawansowania technologicznego, jak też nie obejmują części procesów, w przypadku których powstały w ich wyniku dwutlenek węgla mógłby również być zatłaczany po ziemię. Przepisy te zostaną poddane dogłębnej analizie i zostaną zaktualizowane.

Powyżej wskazane zostały jedynie potencjalnie najważniejsze bariery prawne rozwoju wychwytu i składowania dwutlenku węgla w Polsce, lista ta jednak w żadnej mierze nie wyczerpuje wszystkich potencjalnych barier. Dlatego podjęte zostaną działania zmierzające do zidentyfikowania ich wszystkich i wypracowania w konsultacji z interesariuszami odpowiednich rozwiązań.

Nowelizacja ustawy Prawo energetyczne w zakresie transportu dwutlenku węgla. Na kanwie obecnie obowiązujących przepisów transport dwutlenku węgla i odliczenie go następnie od puli generowanych emisji są dozwolone obecnie jedynie w przypadku transportu CO₂ przy pomocy rurociągów. Blokują to możliwość wykorzystania transportu kolejowego czy drogowego. Stąd art. 1 ust. 2a ustawy Prawo energetyczne zostanie zmieniony w celu jednoznacznego dopuszczenia odliczenia emisji w przypadku wykorzystania innych niż rurociąg form transportu dwutlenku węgla. W dalszej kolejności, wraz

z rozwojem infrastruktury CCUS, analizie, wyjaśnieniu i ewentualnej zmianie poddane zostaną inne przepisy regulujące transport dwutlenku węgla, w tym m.in.:

- określenia szczegółowych warunków przyłączenia do sieci transportowej oraz szczegółowych warunków technicznych gazociągów do transportu CO₂;
- ustalenia warunków kontroli urządzeń i instalacji przyłączonych do sieci oraz stanu technicznego sieci transportowej dwutlenku węgla;
- określenia zasad wykonywania operatorstwa sieci transportowej oraz dostępności dla przedsiębiorców do korzystania z alternatywy jaką jest bezpośredni gazociąg transportu dwutlenku węgla;
- określenia kwestii finansowania usług przesyłowych oraz wyznaczenia operatora sieci transportowej CO₂.

Istotną zmianą w obszarze Prawa energetycznego będzie również włączenie technologii CCU w etap realizacyjny instalacji wychwyty CO₂. Nastąpi to poprzez zmianę zapisu odnośnie budowy instalacji do wychwyty dwutlenku węgla, rozszerzając zapisy o utylizacji.

Ponadto, w celu przyspieszenia projektów w obszarze budowy infrastruktury krytycznej do transportu CO₂ w ujęciu hubowym, podjęte zostaną działania legislacyjne mające na celu uchwalenie nowej specustawy ułatwiającej realizację sieci transportowej dwutlenku węgla w obszarze sieci magistralnych oraz ewentualnych bezpośrednich gazociągów dwutlenku węgla o charakterze strategicznym dla projektów oddanych do eksploatacji przed 2030 rokiem. Konieczność uchwalenia specustawy odnosi się również do terminala eksportowo-importowego w Gdańsku, jako strategicznego przedsięwzięcia dla rozwoju sektora CCUS w Polsce. Przygotowane zostaną również krajowe regulacje, które w sposób szczegółowy odniosą się do warunków technicznych, jakie powinny spełniać rurociągi oraz transportowany nimi dwutlenek węgla.

Nowelizacja Ustawy o odpadach. Z punktu widzenia aktualnie obowiązującej Ustawy o odpadach, brak jednoznacznego wyłączenia wychwyconego CO₂ – bez względu na jego źródło – który dalej będzie uwzględniony w łańcuch wartości technologii CCUS, może budzić wątpliwości, co do kwalifikacji tego gazu jako odpadu. Z zakresu obowiązywania ustawy jednoznacznie zostanie wyłączony dwutlenek węgla w ramach łańcucha technologii wychwyty, transportu, utylizacji i składowania CO₂.

Implementacja Net Zero Industry Act. Przyjęta dyrektywa unijna Net Zero Industry Act (NZIA) zawiera szereg usprawnień mających wspomóc rozwój technologii wychwyty, składowania i utylizacji dwutlenku węgla w Unii Europejskiej m.in. poprzez skrócenie procedur pozwoleńowych i środowiskowych, upowszechnienie dostępu do informacji geologicznej, czy wyznaczenie konkretnego celu zdolności zatłaczania dla wspólnoty (50 mln ton rocznie do 2030 r.) i zobligowanie niektórych podmiotów do uczestniczenia w jego realizacji. Polska będzie uczestniczyć w realizacji założonego celu. Dlatego niezwłocznie podjęte zostaną działania zmierzające do implementacji NZIA do prawa krajowego.

Działania na arenie międzynarodowej w celu zapewnienia odpowiedniego ułożenia regulacji CCUS w umowach międzynarodowych. Obecnie w mocy są dwie umowy międzynarodowe, których Polska jest stroną, które potencjalnie mogłyby powstrzymać rozwój łańcucha wartości CCUS w Polsce.

Pierwszą z nich jest Konwencja Helińska, w przypadku której istnieją przesłanki do interpretacji niedopuszczającej do składowania dwutlenku węgla pod dnem Morza Bałtyckiego. Polska podejmie przemyślane kroki na arenie międzynarodowej zmierzające do wyjaśnienia wątpliwości interpretacyjnych oraz ewentualnie do zmiany postanowień konwencji, tak by umożliwić alternatywę do zakładanej dominującej formy, jaką będzie składowanie na obszarach lądowych, w formie składowania *offshore*. Drugim z aktów prawnych jest Konwencja Londyńska z 1972 r. z towarzyszącym jej Protokołem z 2009 r., która może stanowić potencjalną przeszkodę w międzynarodowym transporcie dwutlenku węgla. Polska podejmie kroki wyjaśniające interpretację Konwencji i Protokołu na arenie międzynarodowej i ewentualnie złoży deklarację o tymczasowym stosowaniu poprawki umożliwiającej transgraniczny transport CO₂.

Podkreślenie roli CCS w KPEiK i PEP2040. Dwoma kluczowymi dokumentami kształtującymi polską politykę klimatyczną są Krajowy Plan w dziedzinie Energii i Klimatu (KPEiK) oraz Polityka Energetyczna Polski do roku 2040 (PEP2040). Technologie CCUS zostały wymienione w obu tych dokumentach, co zostało omówione w adekwatnym rozdziale niniejszego dokumentu strategicznego. W aktualnie obowiązującej wersji obu dokumentów rola CCUS w dekarbonizacji polskiej gospodarki nie jest wystarczająco zaznaczona. Oba te dokumenty podlegają cyklicznej aktualizacji, stąd w następnych aktualizacjach rola CCUS zostanie uwypuklona i rozbudowana. Rola CCUS w dekarbonizacji zostanie jasno zdefiniowana, zarysowane zostaną też oczekiwane redukcje emisji osiągnięte przy pomocy tychże technologii, jak też harmonogram ich wdrożenia oraz preferowane zastosowania w zgodzie z tekstem niniejszego dokumentu strategicznego.

Przepisy dot. węglowych kontraktach różnicowych (CCfD). Niezwłocznie po przyjęciu niniejszego dokumentu strategicznego zostaną rozpoczęte prace koncepcyjne oraz legislacyjne nad polskim modelem wsparcia rozwoju CCUS, a także innych produktów zdekarbonizowanych, poprzez węglowe kontrakty różnicowe (więcej: 3.4.3. Wsparcie finansowe). Ustawa zostanie przyjęta do 2028 r., tak by wesprzeć zakładany dynamiczny wzrost CCUS w Polsce w tym czasie oraz rozstrzygnąć aukcji przed końcem 2030 roku.

3.4.2 DZIAŁANIA POZALEGISLACYJNE

Powołanie pełnomocnika rządu ds. CCUS koordynującego rozwój technologii w Polsce. W toku prac nad niniejszym dokumentem strategicznym zidentyfikowano wzywanie w postaci nakładania się kompetencji kilku ministerstw w zakresie rozwoju technologii CCUS w Polsce, przede wszystkim Ministerstwa Rozwoju i Technologii, Ministerstwa Klimatu i Środowiska (w którego strukturze znajduje się również stanowisko Głównego Geologa Kraju), Ministerstwa Przemysłu czy Ministerstwa Aktywów Państwowych. Tym samym powołany zostanie Pełnomocnik Rządu ds. Rozwoju Technologii CCUS, którego zadaniem będzie koordynacja prac administracji publicznej w tym zakresie. Wpisuje się to też w postulaty interesariuszy przemysłowych wygłaszane w trakcie seminariów w projekcie CCUS.pl o konieczności silnego politycznego przywództwa dla wdrożenia CCUS w Polsce.

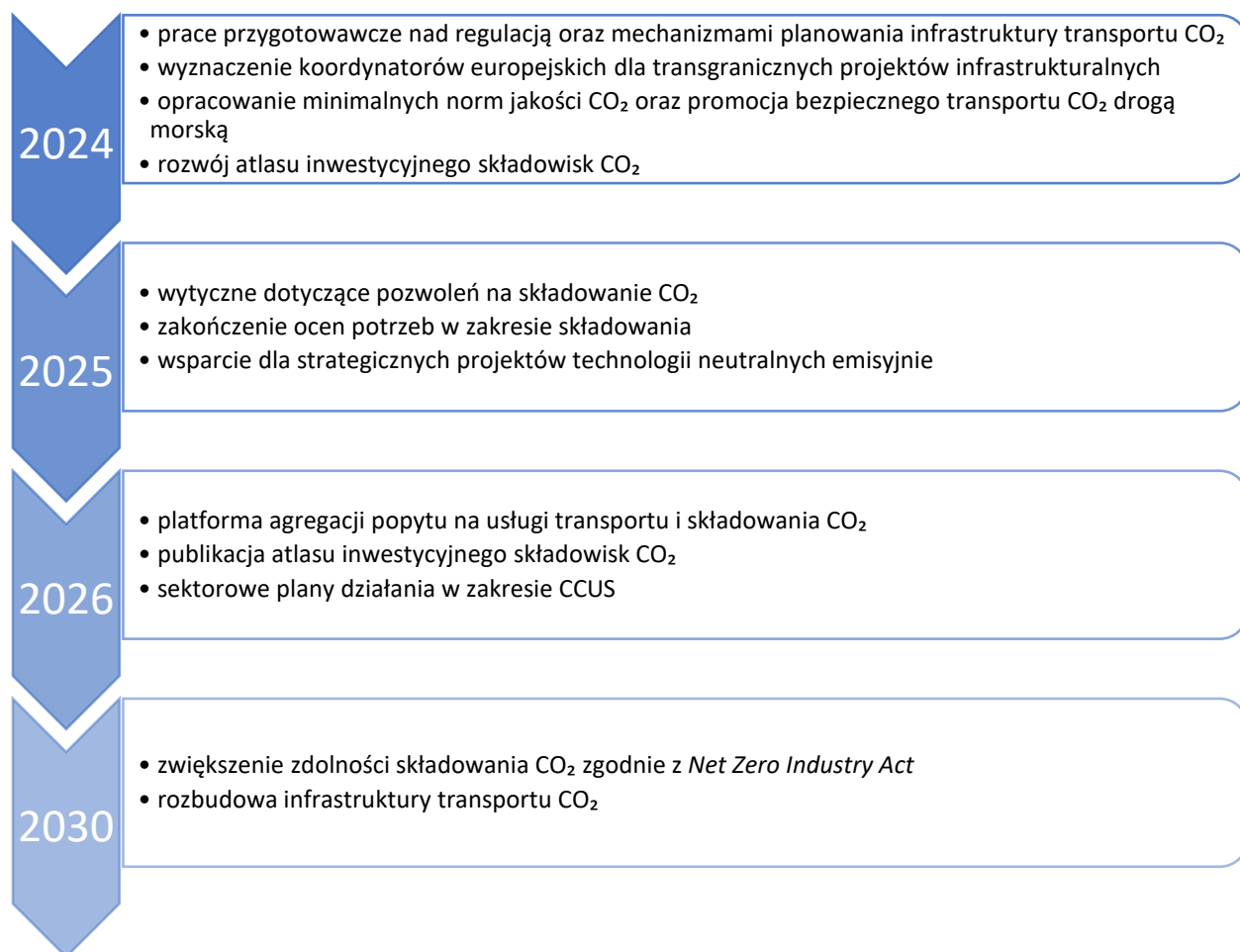
Przyjęcie Strategii Dekarbonizacji Przemysłu. Niniejszy dokument strategiczny obejmuje dekarbonizację wybranych *de facto* gałęzi przemysłu przy pomocy tylko jednej z licznych technologii dekarbonizacyjnych. Tym samym docelowo jej założenia i cele powinny być częścią szerszej strategii odnoszącej się do całego przemysłu i szerokiego przekroju technologii. Dlatego opracowana i przyjęta

zostanie również Strategia Dekarbonizacji Przemysłu, której docelową Strategia CCUS w Polsce będzie jednym z filarów.

Współpraca w ramach Unii Europejskiej. Zgodnie z planami Komisji Europejskiej na rzecz redukcji emisji dwutlenku węgla w przemyśle, wspierając osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 roku, przedstawionych w Komunikacie *W kierunku ambitnego przemysłowego zarządzania emisjami dwutlenku węgla w UE* COM(2024) 62, Polska włączy się aktywnie w działania w tym obszarze na poziomie europejskim we współpracy z Komisją Europejską. Dotyczy to m.in.:

- rozpoczęcia prac legislacyjnych w obszarze pakietu regulacyjnego dla transportu CO₂ (struktura rynku i kosztów, integracja i planowanie transgraniczne, harmonizacja techniczna, dostęp stron trzecich, organy regulacyjne, taryfowanie oraz modele biznesowe);
- rozpoczęcia ścisłej współpracy z przemysłem dla wsparcia i rozwoju nowych projektów infrastrukturalnych w obszarze transportu CO₂;
- opracowania zasad rachunkowości emisji w kontekście EU-ETS aby umożliwić wszystkie środki transportu CO₂ oraz rozwiązać kwestie odpowiedzialności za wycieki;
- ustalenia minimalnych standardów dla strumieni CO₂ w ścisłej współpracy z europejskimi organami normalizacyjnymi;
- przygotowania platformy do oceny zapotrzebowania i agregacji popytu na usługi transportu i/lub składowania CO₂ w celu zapewnienia przejrzystości kontraktów i zamówień;
- stworzenia atlasu inwestycyjnego potencjalnych miejsc magazynowania CO₂ na podstawie wspólnego formatu oceny poziomu gotowości składowania przy zaangażowaniu adekwatnych służb państw członkowskich;
- wypracowania wspólnie z państwami członkowskimi wytycznych w obszarze procesów uzyskiwania pozwoleń dla strategicznych projektów net-zero dla składowania CO₂, zwłaszcza w obszarze odpowiedzialności operatorów, zabezpieczeń finansowych, przejrzystości wymagań do pozyskania zezwoleń oraz ułatwień dla podejmowania FID;
- przeprowadzenia oceny w zakresie technologii usuwania CO₂ z atmosfery zgodnie z ambicjami celów na rok 2040 oraz net-zero w 2050 roku;
- zwiększenia funduszy na badania i demonstracje innowacyjnych technologii usuwania CO₂ z atmosfery;
- oceny strony popytowej na CO₂ do procesów utylizacji z pozycji zasobu w sektorach przemysłowych;
- przygotowania platform wymiany wiedzy oraz wypracowanie map drogowych dla technologii CCU;
- wypracowania spójnego systemu rachunkowości dla wszystkich składowych technologii CCUS, w tym uwzględnienie kwestii korzyści dla klimatu oraz promocji rozwiązań innowacyjnych i zrównoważonych;
- skoordynowania planowania projektów IPCEI dla infrastruktury transportu i składowania CO₂;
- przeprowadzenia oceny dojrzałości technicznej zakładów emisyjnych (np. produkcji cementu i wapna) w celu oceny różnych form wsparcia, w tym kontraktów różnicowych i aukcji;
- ułatwienia i promocja form finansowania inwestycji z wykorzystaniem publicznych i prywatnych środków finansowych (PPP);

- współpracy z państwami członkowskimi i przemysłem w celu zwiększenia wiedzy, świadomości i debaty publicznej w obszarze CCS i CCU, ze szczególnym uwzględnieniem społeczności lokalnej;
- wsparcia dla nowej platformy współpracy i wymiany wiedzy dla projektów przemysłowych CCUS;
- kontynuacji inwestycji w badania i innowacje (R&I) dla technologii CCUS, w tym optymalizację efektywności energetycznej i kosztowej procesów oraz badania prenormatywne mające na celu przyczynienie się do wypracowania norm standaryzacji;
- przyspieszenie współpracy międzynarodowej w celu promowania ujednoliconego raportowania i rozliczania działań związanych z CCUS, aby zapewnić ich dokładne rozliczenie w ramach UNFCCC.



Rysunek 5. Cele strategiczne Industrial Carbon Management w kolejnych latach z rokiem rozpoczęcia działań

Budowanie akceptacji dla CCS poprzez kampanię społeczną. Aby zrealizować cel niniejszego dokumentu strategicznego, jakim jest budowa świadomości i akceptacji technologii CCUS w Polsce, przeprowadzona zostanie kampania społeczna w mediach ogólnokrajowych przygotowana przez ośrodki akademickie i wyspecjalizowane w dialogu społecznym organizacje pozarządowe. Kampania

odbędzie się pod patronatem Państwa i będzie miała na celu budowę większej rozpoznawalności technologii CCUS w Polsce. Kluczowym działaniem będzie też prowadzona przez ośrodki akademickie i organizacje pozarządowe, przy silnym wsparciu państwa i inwestorów, kampania wśród społeczności lokalnych, które zamieszkiwać będą w bezpośredniej bliskości wytypowanych miejsc składowania. Celem kampanii będzie rzetelne przedstawienie korzyści i potencjalnych zagrożeń oraz budowa akceptacji dla rozwoju składowisk *onshore*.

Budowa świadomości CCS administracji publicznej. Świadomość roli i specyfiki technologii CCUS jest ważna również w przypadku administracji publicznej, a szczególnie tych jej podmiotów, które bezpośrednio stykać się będą z regulacjami i wdrażaniem tychże technologii, czy to w procesach legislacyjnych, pozwoleńowych czy też ochrony środowiska. Dlatego przeprowadzone zostaną działania edukacyjne w zidentyfikowanych, kluczowych dla tych procesów jednostkach obejmujące budowanie wiedzy o CCUS, jak też o obowiązujących przepisach. Będzie to działanie wspierające usprawnienie procesów pozwoleńowych, a tym samym ułatwiające szybsze wdrażanie CCUS w Polsce.

Wsparcie dla polskich przedsiębiorstw w budowaniu relacji. Zapewnienie wysokiego udziału *local content*, będące jednym z celów niniejszego dokumentu strategicznego, wspierane będzie poprzez budowanie pod auspicjami państwa relacji pomiędzy polskimi przedsiębiorstwami oraz zagranicznymi podmiotami będącymi dostawcami technologicznymi. Zorganizowane zostaną Dni Dostawcy CCUS, w trakcie których polskie podmioty zainteresowane uczestnictwem we wdrażaniu technologii będą mogły dowiedzieć się o wymogach regulacyjnych i technicznych, potrzebnych kompetencjach oraz zbudować relacje biznesowe. Państwo wspierać będzie podpisywanie przez polskich przedsiębiorców listów intencyjnych w sprawie rozwoju CCUS.

Kompleksowe wsparcie dla B+R oraz budowy kompetencji w obszarze CCUS. Do głównych zadań sektora badawczo-rozwojowego oraz instytucji szkolnictwa wyższego będzie należało prowadzenie innowacyjnych badań naukowych i prac przedwdrożeniowych w kluczowych składowych technologii CCUS, które wciąż pozostają na niskim poziomie gotowości technologicznej i stanowić mogą źródło innowacji o charakterze produktowym i procesowym. Działanie to wymaga przygotowania **Mapy drogowej B+R+I dla technologii CCUS** do końca 2025 roku, która zawierać będzie również inwentaryzację krajowego potencjału badawczo-rozwojowego, w tym infrastruktury badawczej. Instytucje szkolnictwa wyższego przygotują **Program Rozwoju Kompetencji na rzecz technologii CCUS**, który w oparciu o aktualne kierunki kształcenia na uczelniach wyższych, w szczególności uczelniach technicznych, pozwoli na przygotowanie wykwalifikowanych kadr dla rozwoju technologii CCUS w Polsce. Program ten zawierać będzie również ścieżki dla przekwalifikowania pracowników z obszarów powiązanych z gospodarką węglową (po stronie wydobywania i energetyki), którzy swoją wiedzę i doświadczenie będą mogli wykorzystać w ramach łańcucha wartości technologii wychwyty, transportu, utylizacji i składowania CO₂. Działanie to wpisuje się w sprawiedliwą transformację regionów węglowych, i przy zapewnionym stabilnym finansowaniu tych działań, pozwoli na przekwalifikowanie pracowników oraz uzyskanie nowych kompetencji dla powstającego sektora technologii CCUS.

3.4.3 WSPARCIE FINANSOWE

Maksymalizacja wykorzystania funduszy unijnych oraz wsparcie w ich pozyskaniu. Projekty CCUS w Unii Europejskiej mogą liczyć na wsparcie w ramach licznych programów i funduszy. Wymienić należy tu przede wszystkim Innovation Fund, Connecting Europe Facility, InvestEU w tym Fundusz Sprawiedliwej Transformacji. W przypadku badań (B+R) pamiętać należy również o unijnym Horizon Europe, ale też Funduszach Norweskich. Technologie CCUS będą konkurować w ramach konkursów grantowych z innymi technologiami dekarbonizacyjnymi, jednak można przypuszczać, że do dyspozycji inwestorów w projekty wychwytu, składowania i utylizacji powinno być dostępne w następnych latach co najmniej kilkaset milionów euro. Pozyskanie tych funduszy zostanie zmaksymalizowane poprzez profesjonalne doradztwo dla polskich przedsiębiorstw chcących inwestować w technologie CCUS przy pomocy środków unijnych oraz wsparcie w ich pozyskaniu. Przeprowadzone zostaną szeroko zakrojone działania informacyjne i szkoleniowe w instytucjach administracji publicznej pod kątem świadomości technologii CCUS i ich specyfiki, szczególnie w jednostkach odpowiedzialnych za operowanie funduszami.

Wprowadzenie Funduszu Dekarbonizacji Przemysłu. Wsparcie dla inwestycji w CCUS w Polsce nie może jednak polegać wyłącznie na dofinansowaniu ze środków unijnych i konieczne jest przeznaczenie na ten cel również środków krajowych. Jak zaznaczono powyżej długofalowa strategia CCUS powinna docelowo stanowić część szerszej strategii dekarbonizacji przemysłu. Stąd też wynika konieczność wygospodarowania celowych funduszy na dekarbonizację polskiego przemysłu. Powołany zostanie tym samym Fundusz Dekarbonizacji Przemysłu, w ramach którego finansowane będą również projekty CCUS, w tym głównie w obszarze infrastruktury krytycznej dla transportu i składowania CO₂. Fundusz będzie finansowany z wpływów z tytułu opłat w systemie EU ETS ponoszonych przez polskich emitentów przemysłowych. Zapewni to sprawiedliwą redystrybucję środków, która pozwoli na celowe ich przeznaczenie w inwestycje w przemyśle.

Węglowe kontrakty różnicowe dla CCUS. Projekty wychwytu i utylizacji dwutlenku węgla będą mogły ubiegać się o wsparcie w ramach wprowadzonego w najbliższych latach mechanizmu węglowych kontraktów różnicowych (ang. *Carbon Contract for Difference*, CCfD lub CCD). Jest to rozwiązanie zgodne z prawodawstwem unijnym i wprowadzone już w niektórych państwach członkowskich. CCfD pomoże obniżyć ryzyko inwestycyjne dzięki zabezpieczeniu przed wahaniami cen uprawnień do emisji, jak też ułatwić rozwój produktów zdekarbonizowanych poprzez wyrównanie kosztów ich produkcji w porównaniu do referencyjnych produktów opartych na paliwach kopalnych. Wprowadzony w przyszłości model wsparcia CCfD obejmował będzie szereg sektorów wykorzystujących CCUS m.in. wychwyt z instalacji przemysłowych, jak też zdekarbonizowane produkty. Warto nadmienić, że wprowadzenie węglowych kontraktów różnicowych było również postulatem zawartym w Polskiej Strategii Wodorowej, tym samym daje się dostrzec synergia pomiędzy PSW a niniejszym dokumentem strategicznym. Prace nad odpowiednimi przepisami rozpoczną się niezwłocznie po przyjęciu niniejszego dokumentu strategicznego, tak by umożliwić wzmożony rozwój CCUS w Polsce planowany po roku 2030.

3.4.4 MONITORING WDRAŻANIA STRATEGII I JEJ AKTUALIZACJA

Niniejszy dokument strategiczny stanowi podstawę do sformułowania właściwej Strategii technologii wychwytu, transportu, składowania i utylizacji CO₂. Podmiotem odpowiedzialnym za sformułowanie i wdrożenie Strategii CCUS, jak również monitoring realizacji celów strategii jest Ministerstwo [do konsultacji] (i jego prawni następcy w przypadku reorganizacji struktury administracji) do czasu powołania Pełnomocnika Rządu ds. Rozwoju Technologii CCUS. Podmiot odpowiedzialny co roku do końca czerwca przedstawiał będzie Radzie Ministrów i opinii publicznej raport z realizacji Strategii za rok ubiegły. Raport każdorazowo powinien zawierać analizę wyzwań napotkanych w trakcie realizacji strategii oraz rekomendacje odnośnie do jej dalszego wdrażania skonsultowane z ministrem właściwym ds. energii, ministrem właściwym ds. klimatu i środowiska oraz ministrem właściwym ds. przemysłu. Raporty za lata 2030, 2035, 2040, 2045 i 2050 powinny zawierać dogłębną analizę realizacji wskaźników strategii na te lata wraz z propozycjami aktualizacji strategii w zależności od stopnia jej realizacji.

Wykaz skrótów

BECCS	Bioenergy with Carbon Capture and Storage (bioenergia z wychwytem i składowaniem CO ₂)
CCfD	Carbon Contract for Difference (mechanizm węglowych kontraktów różnicowych)
CCUS	Carbon Capture Utilization and Storage (wychwyt, utylizacja i składowanie CO ₂)
CF	Carbon Footprint (śląd węglowy)
CPU	Compression and Purification Unit (układ sprężania i doczyszczania CO ₂)
CO _{2eq}	Carbon Dioxide Equivalent (ekwiwalent dwutlenku węgla)
DACCS	Direct Air Carbon Capture and Storage (bezpośredni wychwyt CO ₂ z atmosfery)
EOR	Enhanced Oil Recovery (wspomagane wydobywanie ropy naftowej)
EU ETS	European Union Emissions Trading System (europejski system handlu emisjami)
GWP	Global Warming Potential (potencjał globalnego ocieplenia)
GHG	Greenhouse Gas (gazy cieplarniane)
SMR	Steam Methane Reforming (proces reformingu parowego gazu ziemnego)
TRL	Technology Readiness Level (poziom gotowości technologicznej)

O PROJEKCIE CCUS.PL

Projekt "Strategia rozwoju technologii wychwytu, transportu, utylizacji i składowania CO₂ w Polsce oraz pilotaż Polskiego Klastra CCUS" (w skrócie CCUS.pl) realizowany jest przez konsorcjum z udziałem *think-tanku* WiseEuropa, Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie oraz Ministerstwa Rozwoju i Technologii, które pełni rolę partnera wdrażającego.

Projekt współfinansowany jest ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu badań naukowych i prac rozwojowych w ramach programu GOSPOSTRATEG.

W ramach projektu opracowany został niniejszy pierwszy dokument strategiczny rozwoju technologii CCUS w Polsce. Aktualnie Polska nie posiada strategii CCUS, przez co dalsze procedowanie opracowanego w ramach projektu dokumenty strategicznego pozwoli wypełnić lukę w zakresie dokumentów strategicznych Polski. W ramach projektu CCUS.pl przygotowywane są projekty regulacji prawnych, umożliwiające rozwój technologii CCUS w sposób zrównoważony z punktu widzenia ekonomicznego i środowiskowego, jak również z uwzględnieniem interesu społecznego i gospodarczego kraju.

Uruchomiony został również pilotaż pierwszego polskiego klastra CCUS wraz z planem i harmonogramem inwestycji, oceną wykonalności i potencjału zaangażowania krajowych firm i instytucji w jego realizację. Opublikowane zostały również raporty analityczne poświęcone akceptacji społecznej dla technologii CCUS w Polsce (obejmujący m.in. nowe badanie opinii społecznej w tym zakresie), finansowaniu i mechanizmom wsparcia dla CCUS (w tym pogłębione studium węglowych kontraktów różnicowych) oraz diagnozę społecznych i ekonomicznych skutków wdrożenia CCUS na podstawie wyników skonstruowanego w projekcie modelu badającego wpływ wdrożenia CCUS na gospodarkę narodową.