

Spółeczno-ekonomiczne korzyści z wdrożenia CCUS w Polsce

Maciej Giers
Fundacja WiseEuropa

prof. dr hab. Michał Rubaszek



Strategia rozwoju technologii wychwytu, transportu, utylizacji
i składowania CO₂ w Polsce oraz pilotaż Polskiego Klastra CCUS

Społeczno-ekonomiczne korzyści z wdrożenia CCUS w Polsce

Autor:

Maciej Giers WiseEuropa
prof. dr hab. Michał Rubaszek

Modelowanie:

prof.dr hab. Michał Rubaszek
dr Jurand Skrzypek
dr Marek Kwas
dr inż. Marcin Jaskólski
dr Bartłomiej Wiśnicki
dr hab. Bartłomiej Rokicki

Konsultacja merytoryczna:

dr Krzysztof Fal WiseEuropa
dr Paweł Gładysz Akademia Górniczo-Hutnicza
Maciej Podogrodzki Ministerstwo Rozwoju i Technologii,
Centrum Analiz Klimatyczno-Energetycznych (CAKE)



Fundacja Warszawski Instytut Studiów Ekonomicznych i Europejskich
ul. Królewska 2/26
00-065 Warszawa
www.wise-europa.eu

Warszawa 2024

Cytowanie: Giers, M., Rubaszek, M. (2024). *Społeczno-ekonomiczne korzyści z wdrożenia CCUS w Polsce*. WiseEuropa.

Projekt okładki, skład, łamanie: Crowd Design Sp. z o.o.

Kopiowanie i rozpowszechnianie może być dokonane za podaniem źródła.

© Copyright by WiseEuropa – Fundacja Warszawski Instytut Studiów Ekonomicznych i Europejskich, Warszawa, 2024

ISBN: 978-83-67829-41-0

Spis treści

Wprowadzenie	4
Opis scenariuszy	6
Potencjał wdrożenia CCUS w Polsce	6
Wpływ wdrożenia CCUS na miks energetyczny	10
Skutki makroekonomiczne i społeczne wdrożenia CCS	11
Wnioski i rekomendacje	14
Metodologia	15



Wprowadzenie

Zmiany klimatu są jednym z największych wyzwań stojących przed ludzkością w XXI wieku, a ich powstrzymanie wymaga międzynarodowej współpracy. Szczyt Ziemi w Rio de Janeiro w 1992 r. wyznaczył początek globalnych wysiłków zmierzających do spowolnienia zmian klimatu. Następnym kamieniem milowym było przyjęcie przez ONZ Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu oraz uzupełniająca ją protokół z Kioto, nakładający na sygnatariuszy konkretne cele redukcji emisji. Obecnie najważniejszym porozumieniem międzynarodowym w dziedzinie polityki klimatycznej jest Porozumienie paryskie z 2015 r. Strony porozumienia zobowiązały się 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 (o czym stanowi art. 2 ust. 1 lit. a porozumienia).¹ Osiągnięcie tych ambitnych celów wymaga ograniczenia emisji gazów cieplarnianych we wszystkich dziedzinach życia, a szczególnie w sektorze energetycznym, przemyśle oraz transporcie.

Technologie wychwytu, składowania i utylizacji dwutlenku węgla (*Carbon Capture Utilization and Storage, CCS/CCUS*) mogą odegrać w tym procesie znaczącą rolę. Wskazuje na to m.in. raport Międzyrządowego Zespołu ds. Zmiany Klimatu (*Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*), który wskazuje technologie CCUS jako ważne narzędzie redukcji emisji w przemyśle chemicznym czy cementowym.² Międzynarodowa Agencja Energii (MAE) prognozuje natomiast, że osiągnięcie zerowych emisji netto nie będzie możliwe bez technologii CCS/CCUS. Dodatkowo, według MAE technologie te pozostają jedynym realnym sposobem redukcji emisji w wybranych sektorach, np. produkcji cementu. Wykorzystanie technologii CCS/CCUS jest też obecnie jedyną opcją osiągnięcia tzw. negatywnych emisji, do których świat dążył będzie po 2050 r., poprzez wychwyty dwutlenku węgla z atmosfery (*Direct Air Capture, DAC*) czy zainstalowanie ich na infrastrukturze spalającej biomasę (*Bioenergy with carbon capture and storage or utilisation, BECCUS*).³ Nie są to jedyne działania pomagające osiągnąć negatywne emisje, tj. absorpcję dwutlenku węgla z atmosfery (odwrotność emisji); wśród innych działań można wymienić np. zalesianie.⁴

W stworzonym przez MAE scenariuszu osiągnięcia zerowych emisji netto do 2050 r. (*Net Zero Emissions by 2050 Scenario, NZE*) przyjęto założenie konieczności wychwytu 1 286 MtCO₂ rocznie już w 2030 r. Dla porównania, odpowiada to niemal połowie rocznych emisji całej Unii Europejskiej (np. w 2021 r. UE wyemitowała ok. 2 725 MtCO₂). Jednak według szacunków MAE, nawet przy realizacji wszystkich ogłoszonych projektów instalacji wychwytu dwutlenku węgla, nie będzie możliwy wychwyty na tym poziomie, jeśli nie zostaną przyspieszone inwestycje w technologie CCS/CCUS.⁵ Jednocześnie, zgodnie ze scenariuszem *Sustainable Development Scenario*, na ścieżce do zerowych emisji netto sektora energetycznego do 2070 r., zdaniem MAE instalacje CCS/CCUS mogą odpowiadać za skumulowaną redukcję około 15% emisji. Wymagałoby to zainstalowania wyposażenia w instalacje infrastruktury CCS/CCSU 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 – nawet na 25% ogólnej konsumpcji biomasy i nawet 50% generacji energii z biomasy i produkcji biopaliw.⁶

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

3 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

4 MyClimate, *What are „negative emissions“?*, URL: <https://www.myclimate.org/en/information/faq/faq-detail/what-are-negative-emissions/>

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

6 Międzynarodowa Agencja Energii, *Energy Technology Perspectives 2020...*, str. 53



Warto zauważyć, że zgodnie z prognozami technologie CCS/CCUS mogą odegrać różną rolę w zależności od sektora. Wskazuje się, że wspomogą one wysiłki redukcyjne przede wszystkim w przemyśle cementowym, produkcji stali i chemicznym. Według MAE, instalacje CCS/CCUS mogą przyczynić się do redukcji o 61% rocznej redukcji emisji w produkcji cementu oraz 31% i 33% odpowiednio w produkcji stali i sektorze chemicznym w horyzoncie do 2070 r.⁷

Wychwycony dwutlenek węgla może pomóc też w dekarbonizacji innych sektorów. Przede wszystkim produkcja paliw syntetycznych przy wykorzystaniu dwutlenku węgla i nisko- lub zeroemisyjnego wodoru może być odpowiedzią na wyzwania dla transportu lotniczego, które są związane z koniecznością znalezienia alternatyw dla konwencjonalnych paliw lotniczych. Według MAE, w 2070 r. niemal połowa zapotrzebowania na kerozynę może być zaspokajana przez paliwa syntetyczne, które też mają mieć ok. 10% udział w rynku paliw w ogóle.⁸ Technologie CCS/CCUS mogą odegrać też istotną rolę w dekarbonizacji transportu, m.in. poprzez produkcję paliwa wodorowego. MAE prognozuje, że wodór produkowany z gazu ziemnego w procesie reformingu parowego z wykorzystaniem CCS/CCUS będzie w 2050 r. najprawdopodobniej wciąż najtańszą metodą produkcji niskoemisyjnego wodoru, a w 2070 r. wodór wyprodukowany z CCS/CCUS wciąż może odpowiadać za ok. 40% produkcji wodoru (601 Mtoe).⁹

Waga technologii CCUS została dostrzeżona również na poziomie unijnym. W 2023 r. Komisja Europejska opublikowała komunikat *Industrial Carbon Management* nazywany również nieformalnie unijną strategią CCUS. Zawarto w nim ambitne cele m.in. osiągnięcia zdolności zatłaczania 50 mln ton CO₂ w Unii Europejskiej już do 2030 r. Realizację celów wspierają odpowiednie akty prawne, m.in. przyjęty w tym roku *Net Zero Industry Act*. Nakłada on na państwa członkowskie konieczność usprawnienia procesu pozwoleńowego, a na wybranych interesariuszy - nawet partycypacji w wyznaczonym celu.

Wyniki badań na modelach przeprowadzonych na poziomie globalnym jasno pokazują kluczową rolę CCS/CCUS w osiągnięciu celów klimatycznych. Otwarte pozostaje jednak pytanie, jaką rolę technologie te mogą odegrać w polskim systemie energetycznym i na ile ich wdrożenie będzie miało wpływ na gospodarkę narodową? Na te i inne pytania stara się odpowiedzieć niniejszy raport, prezentujący wyniki badania przeprowadzonego na połączonych modelach systemu energetycznego (ESM-PL) oraz makroekonomicznego (CGE-PL), które zostały opracowane w ramach projektu „Strategia rozwoju technologii wychwytu, transportu, utylizacji i składowania CO₂ w Polsce oraz pilotaż Polskiego Klastra CCUS” (skrótowa nazwa „CCUS.pl”) współfinansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu GOSPOSTRATEG III na lata 2021 – 2023. Nr Umowy GOSPOSTRATEG-III/0034/2020.

Zapraszamy do lektury!

7 Międzynarodowa Agencja Energii, *Energy Technology Perspectives 2020...*, str. 66

8 Międzynarodowa Agencja Energii, *Energy Technology Perspectives 2020...*, str. 71

9 Międzynarodowa Agencja Energii, *Energy Technology Perspectives 2020...*, str. 75

Opis scenariuszy

Połączone modele ESM-PL i CGE-PL zostały rozwiązane dla dwóch scenariuszy: business-as-usual (BAU) oraz CCS. Koncentrując się na polskiej gospodarce, traktowanej jako mała gospodarka otwarta, nie wpływająca na rozwój globalny, przyjęto identyczne założenia o zmiennych zewnętrznych w obu scenariuszach. Jedynym wyjątkiem jest dopuszczenie wpływu emisji w Polsce na ceny EUA, które są funkcją wielkości emisji na poziomie całej Europy. W obu scenariuszach założono wprowadzenie CCS na poziomie europejskim (poza Polską) z maksymalnymi nowymi zdolnościami składowania 275 Mt i 500 Mt odpowiednio w 2040 r. i 2050 r. Dostępność i wykorzystanie CCS w Polsce jest jedynym czynnikiem różnicującym scenariusze BAU i CCS. 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 pomiędzy członkami konsorcjum projektu CCUS.pl (tj. WiseEuropa, Akademią Górniczo-Hutniczą w Krakowie i Ministerstwem Rozwoju i Technologii); były też one przedmiotem konsultacji z szeroką gamą interesariuszy w trakcie seminarium w Krakowie 17 listopada 2023 r.¹⁰ Naturalnie wyobrazić można sobie również porównanie scenariusza CCS do innych scenariuszy referencyjnych, np. przyspieszonego rozwoju OZE. Stanowiąc może to przyczynek do dalszych projektów badawczych w przyszłości i rozwoju modelu.

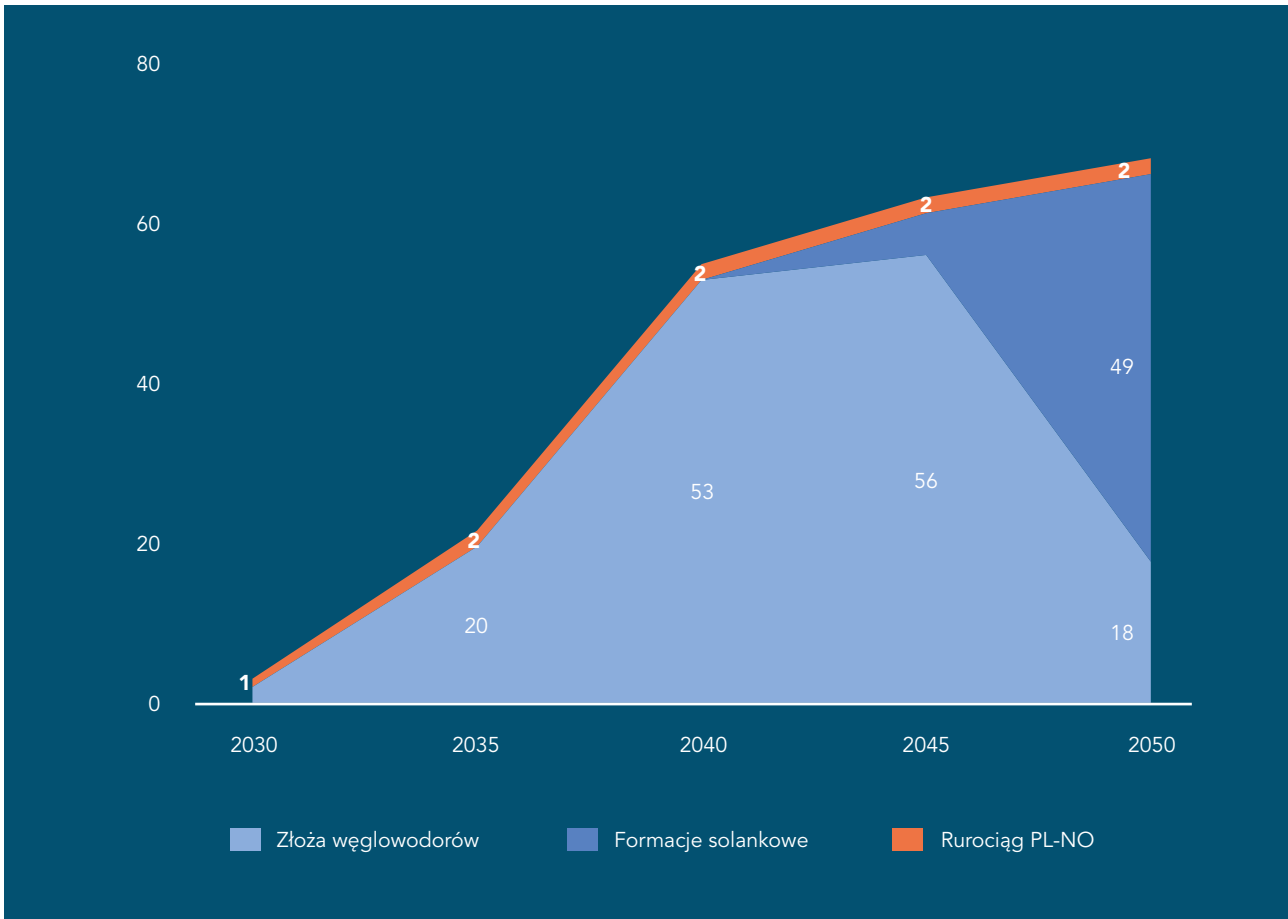
Potencjał wdrożenia CCUS w Polsce

W scenariuszu BAU Polska nie wykorzystuje technologii CCS, zatem koszt emisji podlegających ETS odpowiada cenie certyfikatów EUA. W odróżnieniu, scenariusz CCS zakłada wykorzystanie tych technologii, gdzie odgórnie narzucone ograniczenie poziomu wychwytu wynosi 2 Mt, 70 Mt i 78 Mt CO₂, odpowiednio w latach 2030, 2040 i 2050. Na podstawie informacji od ekspertów analizujących możliwości rozwoju technologii CCS w Polsce założono, że w 2050 r. krajowe składowanie może osiągnąć maksymalnie 70 Mt rocznie, zaś dodatkowe 8 Mt może być wyeksportowane do Norwegii przez powstający rurociąg. Należy podkreślić, że powyższe założenia stanowią optymistyczne oszacowania potencjału składowania CO₂. Wśród przyjętych założeń wykluczono możliwość eksportu dwutlenku węgla do lub importu z krajów ościennych. Należy jednak wziąć pod uwagę, że rozwijany jest obecnie wspólny projekt PKN Orlen (w tym Orlen Lietuva), Lafarge oraz Air Liquide pod nazwą ECO2CEE. W jego ramach w Gdańsku powstaje terminal importowo-eksportowy dwutlenku węgla oraz towarzysząca infrastruktura transportu obejmująca Polskę i Litwę. Do 2030 r. terminal ma osiągnąć przepustowość 3 mln ton CO₂, a docelowo nawet 9 mln ton.¹¹ Polska spośród państw regionu posiada najlepsze warunki geologiczne do sekwestracji dwutlenku węgla (jednocześnie trzeci największy potencjał w UE)¹², tym samym w przyszłości może okazać się zasadnym uwzględnienie importu, szczególnie z państw bałtyckich. Odblokowanie tego potencjału wymagać będzie decyzji biznesowych i politycznych, w tym uwzględnienia przede wszystkim potrzeb rodzimych interesariuszy (o czym więcej poniżej).

¹⁰ [https://ccus.pl/seminarium-transport-i-skladowanie-CO₂-oraz-diagnoza-technologie-ccus-w-polsce-podsumowanie/](https://ccus.pl/seminarium-transport-i-skladowanie-CO2-oraz-diagnoza-technologie-ccus-w-polsce-podsumowanie/)

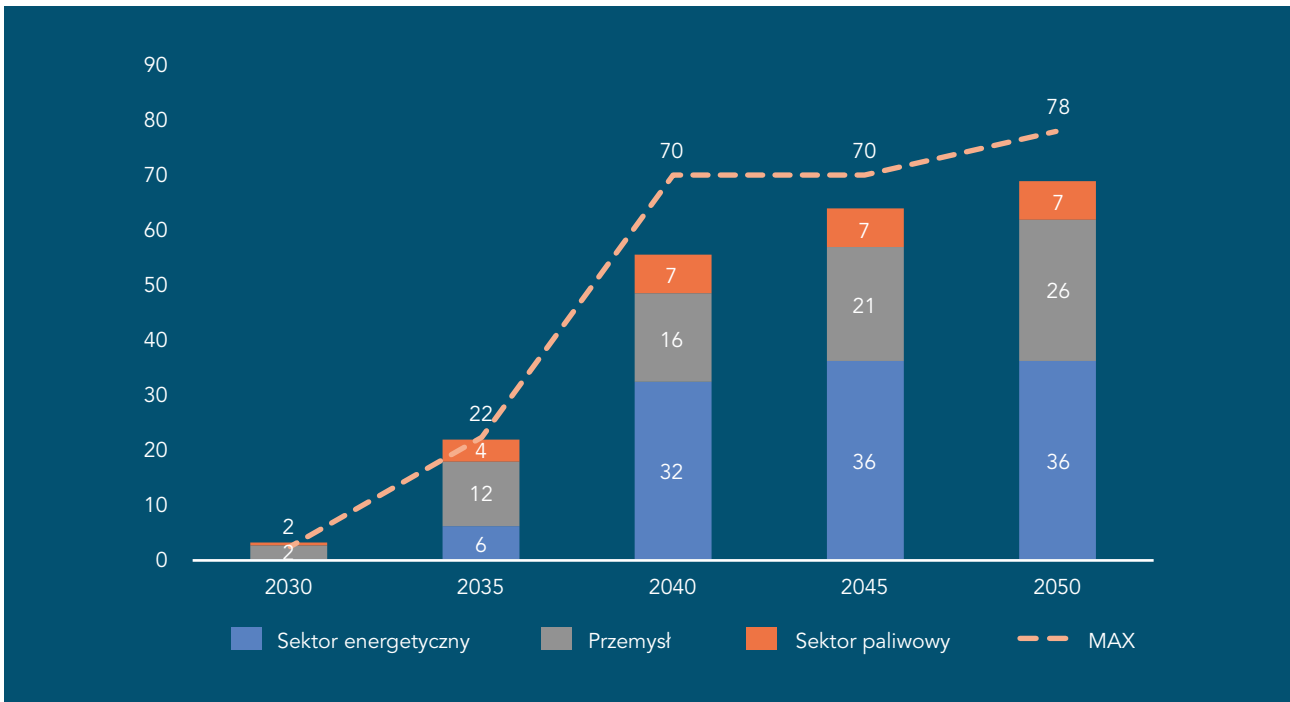
¹¹ <https://www.energy.gov/sites/default/files/2023-08/8.%20ECO2CEE%20PKN%20ORLEN.pdf>

¹² [https://www.catf.us/2023/07/where-will-europe-store-its-CO₂/](https://www.catf.us/2023/07/where-will-europe-store-its-CO2/)

Wykres 1. Metody składowania dwutlenku węgla (Mt/a CO₂)

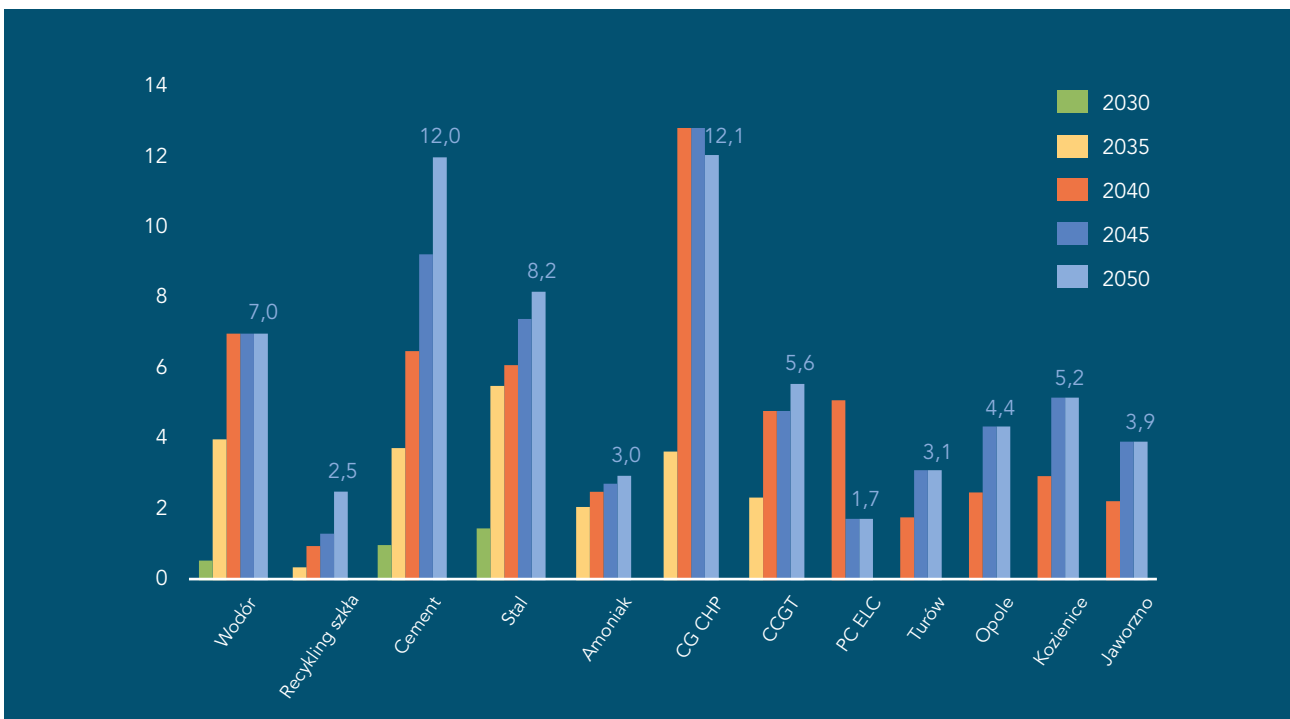
Wykres 1 wskazuje, że w początkowej fazie rozwoju CCS w Polsce, a później aż w perspektywie do 2045-2050 r., fundamentem jest składowanie na obszarach lądowych (składowiska typu *onshore*) w wyczerpanych złożach węglowodorów. Dopiero w perspektywie połowy wieku na znaczeniu zyskują technologie składowania w formacjach solankowych. Wyniki te powinny jeszcze bardziej motywować do wzmocnienia akceptacji społecznej, która będzie kluczowa dla powodzenia projektów składowania dwutlenku węgla *onshore*. Warto też odnotować, że eksport dwutlenku węgla do Norwegii w początkowej fazie pozostaje relatywnie istotną opcją zarządzania emisjami, niemniej z punktu widzenia całego okresu objętego modelem ma on rolę uzupełniającą i marginalną na tle potencjału krajowego łańcucha wartości. Należy uznać to za logiczne rozwiązanie, bowiem pozwala na zatrzymanie wartości generowanej w kraju.

Wykres 2. Miejsca wychwyty dwutlenku węgla w podziale na sektory (Mt/a CO₂)



Na wykresie 2 porównano ograniczenia maksymalnej zdolności wychwyty z wynikami symulacji dla poszczególnych sektorów. Widać, że w rozwiązaniu modelu ESM-PL optymalny jest stopniowy rozwój technologii CCS. Pod względem podziału sektorowego wykorzystania instalacji CCS, są one głównie instalowane w elektrowniach i elektrociepłowniach (sektor energetyczny), w przemyśle cementowym i w sektorze paliwowym.

Wykres 3. Miejsca wychwyty dwutlenku węgla w podziale na instalacje (Mt/a CO₂)





Uwagi: Rysunek przedstawia średnioroczny wychwyty CO₂ według instalacji w scenariuszu CCS. Instalacje te obejmują: cztery elektrownie węglowe z CCS (Jaworzno, Kozienice, Opole i Turów); elektrociepłownię zintegrowaną ze zgazowaniem węgla kamiennego wraz z CCS (CG CHP); generatory z turbiną gazową w układzie połączonym z CCS (CCGT); produkcję amoniaku z CCS (Amoniak); recykling gazów wylotowych w wielkich piecach z CCS (Stal); produkcję cementu metodą suchą z CCS (Cement); recykling szkła z CCS (Recykling szkła) i scentralizowaną produkcję wodoru ze zgazowania węgla z CCS (Wodór).

Wykres 3 przedstawia bardziej szczegółowe rozbięcie wychwyty CO₂ w podziale na poszczególne instalacje. W przypadku energetyki i ciepłownictwa obejmuje on zarówno bloki węglowe, jak i gazowe. Należy jednak zaznaczyć, że zastosowanie CCS w produkcji energii i ciepła z paliw kopalnych, szczególnie węgla, może być przedmiotem decyzji politycznych związanych m.in. z obranymi kierunkami polityki energetyczno-klimatycznej. Warto tu wspomnieć np. o umowie społecznej z 2021 r. w sprawie transformacji sektora górnictwa kamiennego, która zakłada m.in. produkcję w kopalniach węgla kamiennego do 2049 r. W momencie pracy nad omawianym modelem i niniejszym raportem pozostaje ona w mocy. Nie można jednak całkowicie wykluczyć politycznych decyzji o zmianach jej zapisów czy też wcześniejszego, naturalnego wyłączenia bloków węglowych. Niemniej przeprowadzone modelowanie wykazało, że zastosowanie CCS w energetyce jest możliwe w ekonomicznie racjonalny sposób, przynoszący ogólne korzyści dla gospodarki narodowej. Z kolei w przypadku przemysłu wybija się znaczący potencjał wychwyty z produkcji cementu. Jest to zgodne z przyjętym wśród ekspertów poglądem, że produkcja cementu, z powodu trudności z redukcją emisji procesowych, jest niejako predestynowana do szybkiego i szerokiego wdrożenia CCS. Można spodziewać się również inwestycji w CCS w sektorze stalowym. Wart uwagi jest też prognozowany udział CCS w produkcji wodoru. Tym samym CCS może wesprzeć również rozwój polskiego rynku wodoru poprzez pobudzenie go przez produkcję niskoemisyjnego wodoru z paliw kopalnych, torujące drogę produkcji wodoru w procesie elektrolizy.

Wykres 4. Cena emisji gazów ciepłarnianych (EUA, EUR/tCO₂ w cenach stałych)



Uwaga: Cena EUA liczona jest jako cena ukryta za emisję dodatkowej tony CO₂.

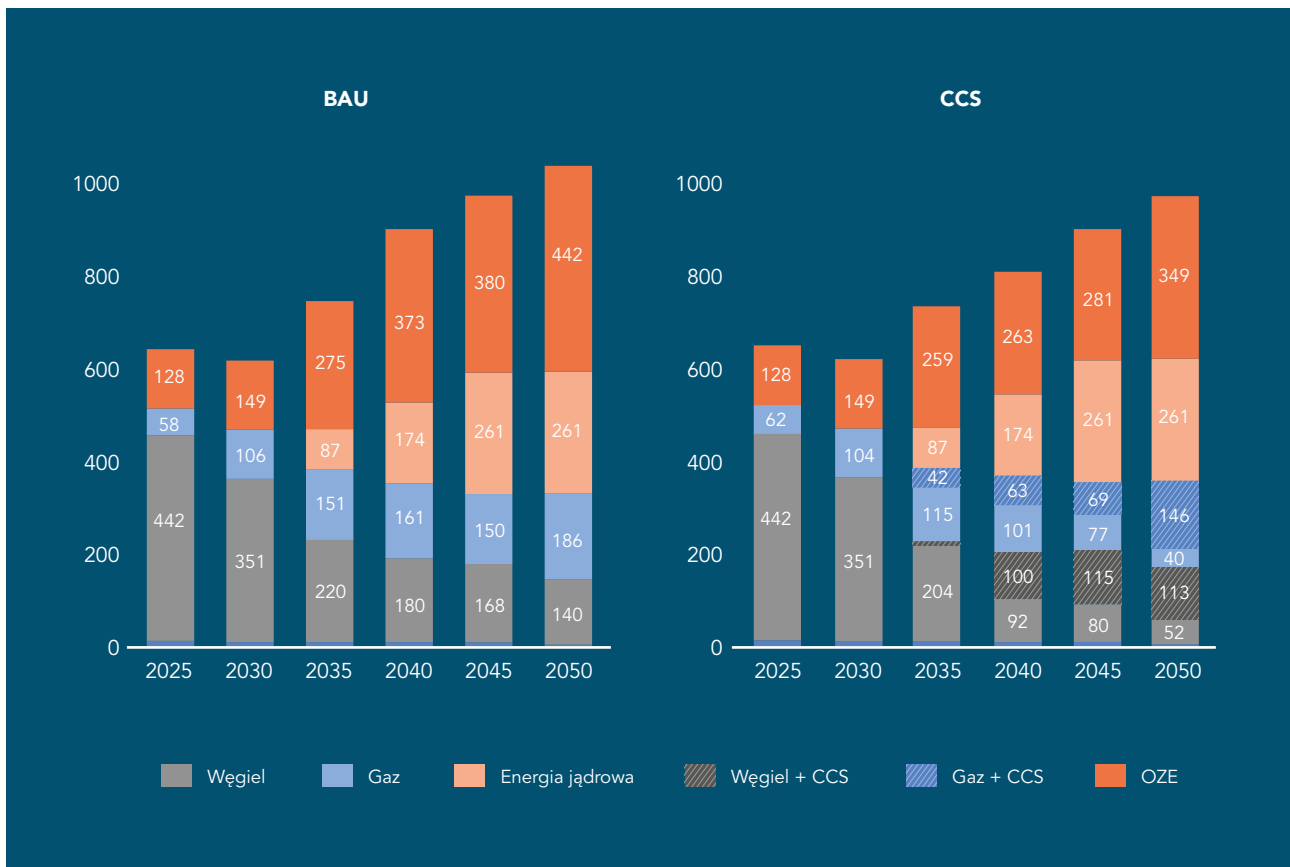


Model ESM-PL pozwala wyznaczyć cenę ukrytą emisji gazów cieplarnianych, którą można interpretować jako proxy ceny certyfikatów EUA. Wykres 4 pokazuje, że dekarbonizacja europejskiej gospodarki pociągnie za sobą znaczny wzrost ceny certyfikatu EUA. Cena ukryta za emisję jednej tony CO₂ wzrasta do 470 EUR w 2050 r (scenariusz BAU). Wykres ten ilustruje, jak dużym wyzwaniem dla polskiego przemysłu w będą rosnące ceny uprawnień do emisji w systemie EU ETS. Warto przy tym odnotować, że wraz z wejściem życie w Unii Europejskiej regulacji CBAM od 2026 r. pula bezpłatnych uprawnień będzie systematycznie zmniejszana, a w 2034 r. zostaną one wycofane całkowicie. W tym kontekście ciekawe są wyniki symulacji, wskazujące, że ograniczenie emisji w Polsce przez rozwój technologii CCS może wpłynąć na koszty emisji gazów cieplarnianych na poziomie UE (cena w 2050 r. jest o 22EUR/tCO₂ niższa niż w BAU). Oznacza to, że ograniczenie emisji w Polsce może powodować, że pozostałe emisje będą mniej kosztowne. Tym samym wdrażanie technologii CCS w Polsce będzie jednocześnie zwiększało pulę dostępnych środków na inwestycje w dekarbonizację u innych emitentów poprzez zmniejszenie obciążenia z tytułu EU ETS.

Wpływ wdrożenia CCUS na miks energetyczny

W ramach modelowania przeprowadzono również projekcję wpływu wdrożenia CCS na miks energetyczny. Warto odnotować, że różnice w udziale poszczególnych źródeł energii (węgiel, gaz, OZE, energia jądrowa) nie są znaczące w obu porównywanych scenariuszach. Jednak w efekcie wdrożenia CCS polski system energetyczny jest mniej emisyjny z uwagi na wysoki udział bloków węglowych i gazowych wyposażonych w tego typu instalacje.

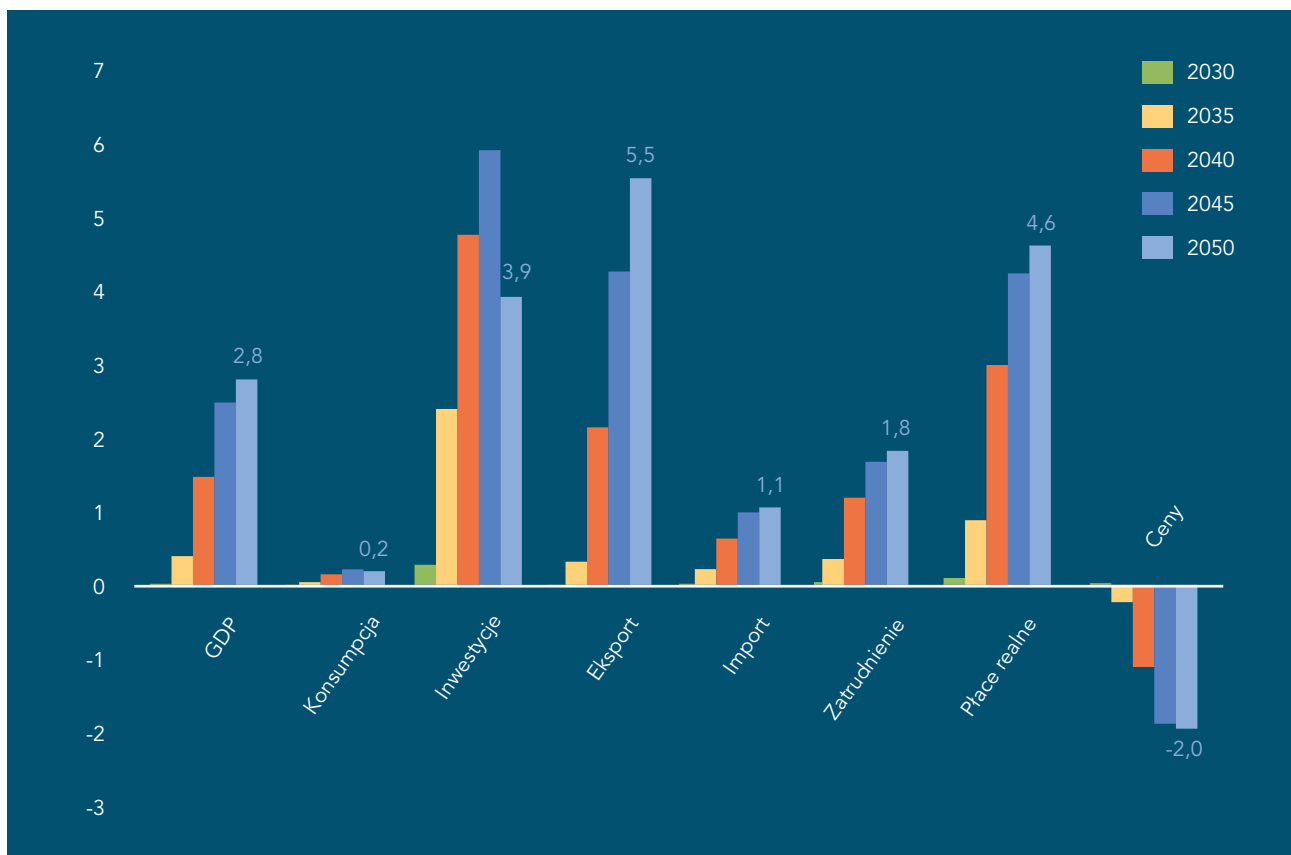
Wykres 5. Miks energetyczny w scenariuszach BAU i CCS (PJ)



Skutki makroekonomiczne i społeczne wdrożenia CCS

Jak wskazano powyżej, modelowanie przeprowadzone w ramach projektu miało ca celu również oszacowanie wpływu wdrożenia technologii CCUS na gospodarkę narodową Polski. Pod uwagę wzięto kluczowe wskaźniki makroekonomiczne, tj.: PKB, zatrudnienie, płace realne, konsumpcję, inwestycje, import i eksport oraz inflację konsumencką (CPI). Wpływ wdrożenia technologii CCUS za wymienione wskaźniki został zbadany, jak opisano w sekcjach niniejszego dokumentu powyżej, w odniesieniu do dwóch wariantów scenariuszowych – BAU, gdzie technologie te nie są wdrażane oraz CCS - zakładających ich wdrożenie.

Wykres 6. Wpływ technologii CCS na główne wskaźniki ekonomiczne (% zmiany dla scenariusza CCS wzg. BAU)



Wyniki modelowania wskazują jednoznacznie pozytywny wpływ wdrożenia CCUS na polską gospodarkę. Przede wszystkim w perspektywie 2050 r. produkt krajowy brutto (PKB) Polski jest o 2,8% wyższy w przypadku rozwoju technologii CCUS w porównaniu do scenariusza business-as-usual, zaś poziom zatrudnienia wyższy jest o 1,8%. Wynika to przede wszystkim z faktu, że wdrożenie technologii CCS pozwala firmom obniżyć koszty produkcji: mogą one częściowo zastąpić drogie certyfikaty EUA tańszym wychwytem w ramach usług CCS. Wynikający z tego spadek poziomu cen, który do 2050 r. wyniesie 2,0%, zwiększa konkurencyjność cenową i prowadzi do wzrostu eksportu netto. W scenariuszu CCS w 2050 r. wolumen eksportu jest o 5,5% wyższy w porównaniu z BAU, podczas gdy wolumen importu wzrasta tylko o 1,1%. Wykres 6 ukazuje również, że potrzeba rozwoju sektora CCS wymaga inwestycji, których poziom w 2050 r. w scenariuszu CCS jest o 3,9% wyższy niż w BAU. Warto odnotować, że wychwytem emisji zmniejszy wydatki na uprawnienia do emisji, a tym samym zwiększy pulę środków dostępnych na inwestycje krajowe.



Należy zauważyć, że skala skutków makroekonomicznych wdrożenia technologii CCS zależy od kilku założeń na temat funkcjonowania gospodarki. Po pierwsze, od cen uprawnień do emisji gazów cieplarnianych, ponieważ płaćenie za emisje jest substytutem wychwytu. Wysokie ceny certyfikatów EUA (Wykres 4) są ważnym źródłem pozytywnego wpływu wprowadzenia technologii CCS na gospodarkę. Po drugie, w obydwu scenariuszach założono taki sam poziom nominalnego kursu walutowego. Oznacza to, że niższe koszty produkcji wynikające z wykorzystania technologii CCS prowadzą do poprawy konkurencyjności cenowej i wzrostu eksportu netto. Trzecie założenie związane jest z funkcjonowaniem rynku pracy, a mianowicie w jakim stopniu większy popyt na pracę prowadzi do wzrostu zatrudnienia a na ile do wzrostu płac realnych. Zakładamy, że elastyczność podaży pracy względem płac wynosi 0,4, co jest medianą oszacowań w literaturze akademickiej. Jeżeli przyjąć wyższą elastyczność, efekty ekonomiczne wdrożenia CCS okazałyby się jeszcze silniejsze.

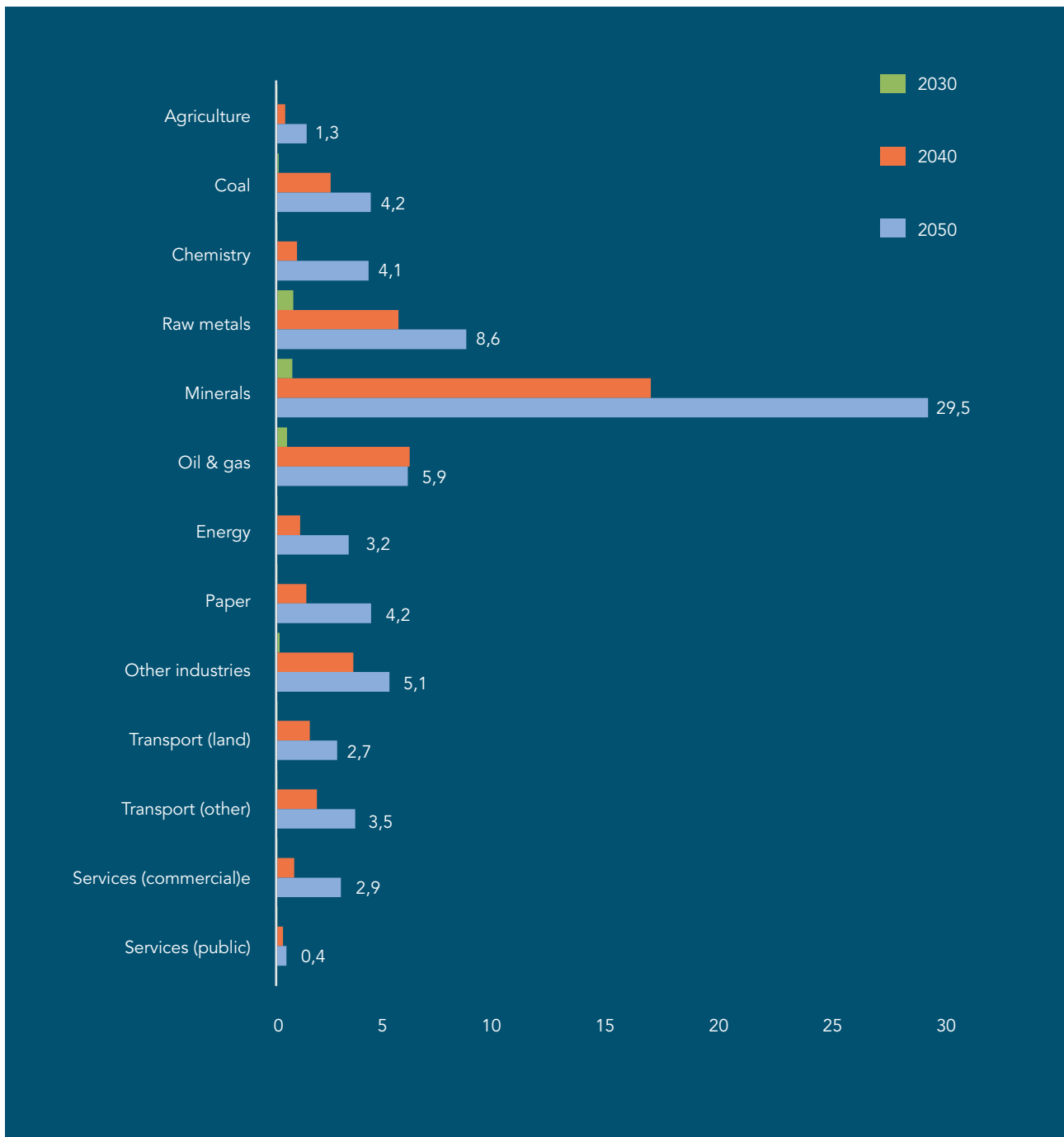
Wyniki wskazujące na spodziewany pozytywny wpływ wprowadzenia technologii CCS na rynek pracy warto odnieść do szacunków agencji Rhodium Group wykonanych dla Stanów Zjednoczonych. Ukazują one, że pojedyncza instalacja CCS może wygenerować od kilkuset do nawet kilku tysięcy miejsc pracy w fazie konstrukcyjnej. Z kolei w fazie operacyjnej liczba ta spada do średnio kilkudziesięciu osób.¹³ Należy jednak pamiętać, że CCS ma jednak przede wszystkim potencjał ochrony istniejących miejsc pracy w przemyśle, który znajdował się będzie pod coraz większą presją finansową w związku z polityką klimatyczną. Widoczny jest też prognozowany wyższy poziom płac realnych wynikający pośrednio z niższej inflacji CPI, ale również wyższego wzrostu gospodarczego.

W tym kontekście warto też wspomnieć o potencjale udziału polskich przedsiębiorstw w łańcuchu wartości dla technologii CCUS. Rozwój tego łańcucha stanowi dla nich szansę rozwojową. Niestety nie istnieją żadni polscy dostawcy kompleksowych rozwiązań dla wychwytu dwutlenku węgla z procesów przemysłowych. Rozwiązania takie dostarczają przeważnie duże podmioty zagraniczne, posiadające jednak swoje oddziały w Polsce i współpracujące z polskimi podmiotami. Wśród nich warto wymienić Linde Group, oferującą zarówno technologie odzysku dwutlenku węgla wykorzystywane np. przy procesach rafineryjnych, jak też wychwytu CO₂ z gazów poprodukcyjnych. Niemniej wśród możliwych poddostawców zidentyfikowano liczne polskie podmioty z udokumentowanym doświadczeniem w technologiach CCUS. Do największych z nich należy spółka Rafako S.A., która w 2016 r. opracowała dla spółki Tauron Wytwarzanie analizę możliwości instalacji infrastruktury wychwytu dwutlenku węgla na bloku węglowym, prowadząc też doradztwo w tym zakresie. Z kolei Exergon sp.z.o.o, prywatna spółka zajmująca się doradztwem i dostarczaniem rozwiązań dla sektora energetycznego, zaangażowana była w projekt EnerGizerS badający wykorzystanie dwutlenku węgla w procesach pozyskiwania energii geotermalnej. Inną spółką, w przypadku której zidentyfikowano doświadczenie w rozwoju CCUS, jest Energoprojekt Katowice S.A., który w przeszłości współpracował z Instytutem Chemicznej Przeróbki Węgla w tym zakresie. Również spółka inżynierska Bros Control Sp. z o.o. zaangażowana jest w projekt NEGATIVE- CO₂-PP.

Wyniki przeprowadzonych symulacji pomagają ustalić prognozowany wpływ, jaki wdrożenie CCUS miałoby nie tylko na całą gospodarkę narodową, ale również na poszczególne jej sektory. Porównanie ze scenariuszem BAU zostało pokazane na Wykresie 7. Okazuje się, że wszystkie sektory zyskują, głównie ze względu na ogólny wzrost aktywności gospodarczej. Efekt ten jest jednak szczególnie silny w sektorach wysokoemisyjnych podlegających regulacjom ETS, np. obejmujących produkcję cementu i szkła (*minerals*), stali (*raw metals*) oraz amoniaku (*chemistry*). Dzięki wprowadzeniu technologii CCS sektory te stają się bardziej konkurencyjne kosztowo, co prowadzi do ich większej aktywności.

¹³ Carbon Capture Coalition, *Carbon Capture Jobs and Project Development Status*, <https://carboncapturecoalition.org/wp-content/uploads/2020/06/Carbon-Capture-Jobs-and-Projects.pdf>

Wykres 7. Wpływ technologii CCS na działy gospodarki (% zmiany dla scenariusza CCS wzg. BAU)





Wnioski i rekomendacje

Wdrożenie CCS to korzyści dla polskiej gospodarki. Polska gospodarka, a tym samym przemysł, znajdował się będzie w najbliższych latach pod rosnącą presją związaną ze wzrostem cen uprawnień do emisji w systemie EU ETS, a także konkurencją ze strony producentów spoza UE. Skutki dla unijnego, a w tym polskiego przemysłu, mitygować ma węglowy podatek graniczny w ramach systemu CBAM. Jednak w związku z jego wejściem wycofana zostanie stopniowo pula darmowych alokacji EU ETS. Tym samym konieczne są inwestycje w technologie dekarbonizacyjne dla polskiego przemysłu. Wyniki modelowania przeprowadzonego w projekcie CCUS.pl jasno wskazują na szerokie korzyści dla gospodarki narodowej wynikające z wdrożenia technologii wychwytu, składowania i utylizacji dwutlenku węgla. Technologie te przyczyniają się do obniżenia emisyjności polskiej energetyki i przemysłu, a tym samym zmniejszenia obciążeń wynikających z systemu handlu emisjami EU ETS. Obecnie środki finansowe ze wspomnianych obciążeń nie są w całości reinwestowane w dekarbonizację polskiej gospodarki. Instalacja technologii CCS pozwoliłaby przedsiębiorstwom energetycznym i przemysłowym na zwiększenie oszczędności z tytułu transformacji niskoemisyjnej, co przełożyłoby się na większe inwestycje w kraju. Pozytywny wpływ wyższych inwestycji byłby widoczny także dla wszystkich najważniejszych wskaźników gospodarczych, przede wszystkim produktu krajowego brutto, ale też zatrudnienia czy konsumpcji. Stąd wskazane jest podjęcie szybkich i stanowczych kroków zmierzających do zniesienia barier dla rozwoju CCS w Polsce.

CCS może ochronić miejsca pracy. Korzystny wpływ pełnego łańcucha wartości CCS w Polsce na rynek pracy uważa się za istotny czynnik kształtujący percepcję społeczną tych technologii. Korzyści, jakie mogą odnieść społeczności lokalne (ale nie tylko) z wdrożenia CCS, powinny być jasno komunikowane. Sama infrastruktura CCS w fazie operacyjnej może generować miejsca pracy, jednak jest to średnio kilka-kilkadziesiąt dedykowanych stanowisk na zakład. Tworzenie infrastruktury CCS potencjalnie stanowi atrakcyjne rozwiązanie na poziomie lokalnym. Na poziomie gospodarki narodowej w kontekście zatrudnienia większe znaczenie będzie miało generowanie tymczasowych zadań w fazie konstrukcyjnej (nawet kilka tysięcy miejsc pracy na instalację), ale przede wszystkim utrzymanie dotychczasowych miejsc pracy w przemyśle. Rosnące koszty wynikające z polityki klimatycznej mogą przyczynić się do zmniejszenia produkcji i zatrudnienia. Zmniejszenie emisyjności zakładów przemysłowych przyczyni się tym samym do utrzymania ich konkurencyjności i płynności, a więc samym pozwoli potencjalnie nie tylko na utrzymanie zatrudnienia, ale również na jego zwiększenie.

Polska ma potencjał dla pełnego łańcucha wartości. Mimo luki pomiędzy maksymalnymi możliwościami wtłaczania a wychwytem emisji z energetyki i przemysłu utrzymującej się przed większością badanego okresu, w perspektywie roku 2050 niemal cała roczna przepustowość zatłaczania w formacjach geologicznych zostaje w całości zapełniona przez podmioty krajowe z niewielkim udziałem eksportu dwutlenku węgla do Norwegii. Pokazuje to, że możliwe jest zbudowanie w Polsce pełnego łańcucha wartości CCS z zapewnioną podażą i popytem na zatłaczanie zbliżone do maksymalnych zakładanych wartości. Z punktu widzenia wartości dla gospodarki jest to rozwiązanie nieporównywalnie korzystniejsze od eksportowania polskich emisji lub płacenia za niewychwycone emisje w ramach systemu ETS. Samo wdrożenie CCS zmniejszy też bowiem lukę pomiędzy dostępnymi i potrzebnymi uprawnieniami do emisji, a tym samym pozwoli na przekierowanie środków z tego tytułu na inwestycje realizowane w Polsce. Wyniki sugerują, że warto zastanowić się nad udostępnieniem przestrzeni magazynowej w Polsce firmom z sąsiednich krajów, choć jednocześnie istnieją przesłanki wskazujące, że lokalne podmioty mogą w ekonomicznie uzasadniony sposób wypełnić te przestrzenie. Decyzja w tej sprawie powinna zostać poprzedzona szerokim badaniem rynku. Z uwagi jednak na uwarunkowania geologiczne Polska jest krajem regionu o największych zdolnościach podziemnego składowania dwutlenku węgla. Tym samym potencjalnie import CO₂ z krajów sąsiednich mógłby stanowić kolejny, dochodowy sektor w polskim łańcuchu wartości CCUS.



Wdrożenie CCS na blokach węglowych i gazowych będzie przedmiotem politycznych decyzji. W modelu wykazano znaczący udział wychwytu dwutlenku węgla z bloków węglowych i gazowych. Jednak wobec wymogów polityki klimatycznej, zarówno unijnej jak i krajowej, decyzja o instalacji CCS w energetyce powinna zostać podjęta przez polityków jak najszybciej. Umożliwiłoby to lepsze planowanie rozwoju CCS w Polsce oraz ewentualne przekierowanie działań w kierunkach skupiających się na innych sektorach gospodarki. Stąd niezbędne jest rzetelne i szeroko akceptowane zdefiniowanie roli energetyki węglowej w polskim systemie energetycznym. Niemniej warto wskazać, że wyniki modelowania pokazują, że inwestycje w CCS w energetyce węglowej mogą być uzasadnione ekonomicznie i przynieść ogólne korzyści dla gospodarki narodowej.

Metodologia



Opis modelu CGE-CCS-PL



Opis modelu ESM-PL

