

pod redakcją naukową
Jerzego Gajewskiego i Wojciecha Paprockiego

Polityka klimatyczna i jej realizacja w pierwszej połowie XXI wieku



PUBLIKACJA
EUROPEJSKIEGO
KONGRESU FINANSOWEGO

Publikacja
Europejskiego
Kongresu
Finansowego

Polityka klimatyczna i jej realizacja w pierwszej połowie XXI wieku

Pod redakcją naukową
Jerzego Gajewskiego
i Wojciecha Paprockiego

Sopot 2020

Recenzenci:

Prof. dr hab. Piotr Banaszyk, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu

Dr hab. inż. Elżbieta Pietrzyk-Sokulska, Polska Akademia Nauk

Zdjęcie na okładce udostępnione dzięki: Shutterstock. Numer: 723512722

Projekt okładki: Stanisław Ciechanowski

Opracowanie redakcyjne: Aleksandra Vitoux

Korekta: Marlena Dobrowolska

DTP: Ewa Nowaczyk

© Copyright by Centrum Myśli Strategicznych

Sopot 2020

ISBN 978-83-954392-4-7

Centrum Myśli Strategicznych

ul. Powstańców Warszawy 19

81-718 Sopot

Spis treści

Jerzy Gajewski, Wojciech Paprocki

Wprowadzenie 5

Wojciech Paprocki

Jak zmienić postawę *homo sapiens*? 12

Konrad Szpak

Polityka klimatyczna Unii Europejskiej w perspektywie 2050 roku 34

Joanna Kulczycka

Gospodarka o obiegu zamkniętym dla zmian klimatu 54

Michał Drewniak

Redukcja energochłonności w budownictwie 70

Katarzyna Nowicka

Zielone łańcuchy dostaw 4.0 114

Jakub Zawieska

Auto 2.0: ewolucja modelu konsumpcji oraz miejsce samochodu osobowego
w świetle wyzwań klimatycznych i zmian potrzeb mobilności mieszkańców
Europy 136

Wojciech Szymalski

Perspektywa ograniczenia emisji gazów cieplarnianych z transportu
w metropolii – przypadek Warszawy 158

Małgorzata Kacprzak

Usuwanie CO₂ z atmosfery – zalety, wady i wyzwania 178

Marcin Mrowiec

Ekonomiczne aspekty polityki klimatycznej 202

Wprowadzenie

Prezentowana monografia miała pierwotnie ukazać się na początku czerwca 2020 r. Jest ona kolejną pozycją w serii publikacji Europejskiego Kongresu Finansowego (EKF). Planowano poruszyć zawarte w niej problemy podczas debat 10. edycji EKF w Sopocie, dotyczących atrakcyjności inwestowania w „zielony biznes”. Stało się jednak inaczej. Wprowadzony w marcu, w związku z wybuchem pandemii COVID-19, lockdown zmusił organizatorów EKF do przesunięcia terminu obrad w Sopocie na jesień 2020 r. Pozwoliło to uzupełnić niektóre fragmenty opracowania prezentowanego na przełomie czerwca i lipca, kiedy społeczeństwa z wielu regionów świata przechodziły już do drugiej fazy pandemii. Autorzy publikacji mogli odnieść się do tych szczególnych doświadczeń, których doznaliśmy w pierwszej połowie 2020 r., oraz uwzględnić pierwsze komentarze przedstawicieli różnych środowisk, w tym akademickich i biznesowych, dotyczące konsekwencji pandemii. W sposób nieplanowany zaistniała teraz możliwość, aby przeanalizować wydarzenia ostatnich miesięcy i przedstawić pierwsze wyniki badań.

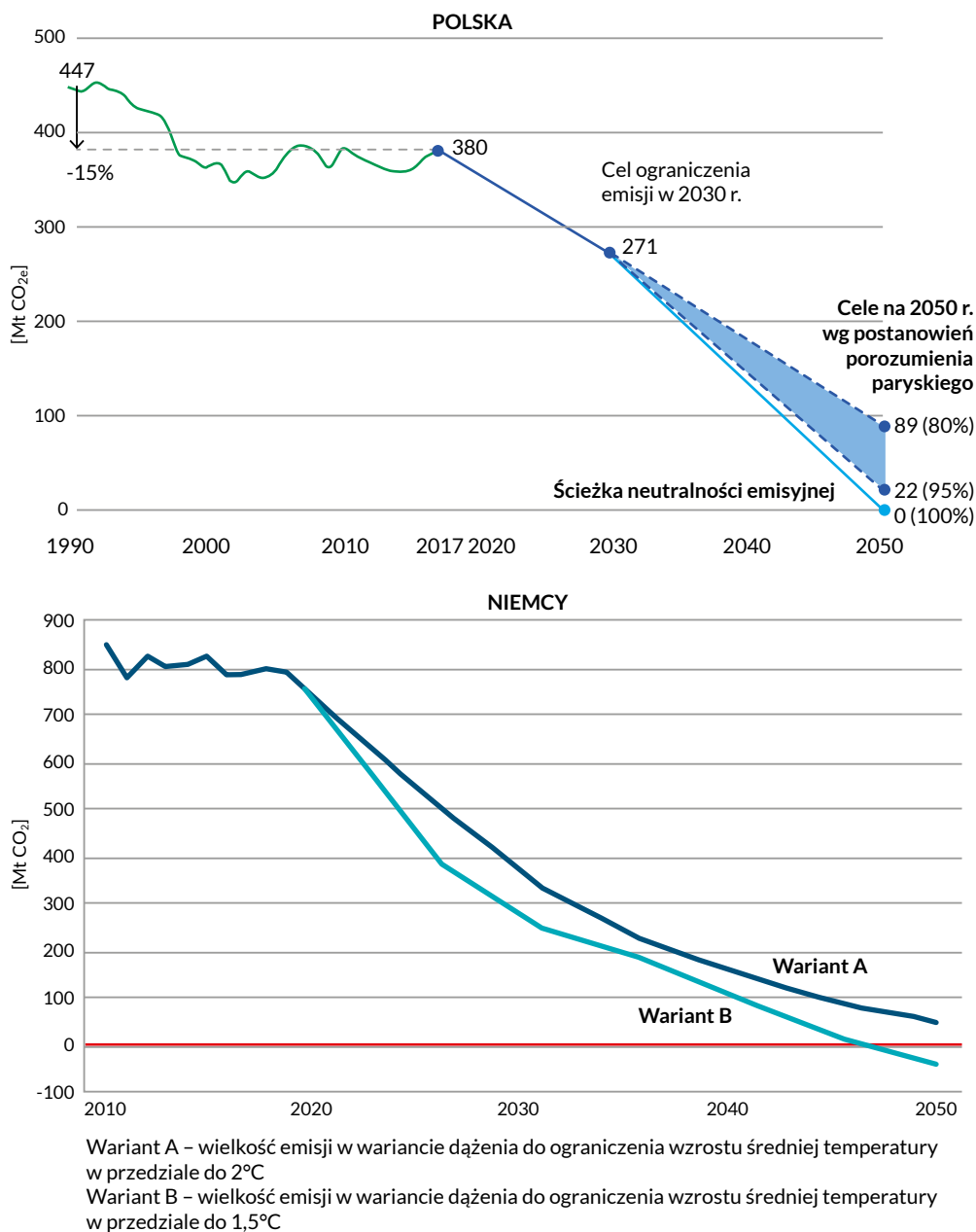
Autorzy odwołują się do stwierdzenia z wydanej w czerwcu 2020 r. książki niemieckiego ekonomisty Henninga Vöpla: „Pandemia stanowi jedno z tych wydarzeń w historii, które z pełną siłą doprowadza do zmiany otaczającego nas świata, a w przyszłości wydarzenia będą przyporządkowywane temu, jak świat funkcjonował przed pandemią i po niej” (Vöpel, 2020).

W centrum zainteresowania prezentowanej monografii jest zagadnienie, które już w 2015 r. uznano za największe wyzwanie dla mieszkańców całego świata na najbliższe dziesięciolecie. W porozumieniu paryskim, zawartym podczas 21. Kongresu (COP21), wyznaczono cel polityki klimatycznej: zahamowanie globalnego ocieplenia na poziomie „dużo poniżej 2°C” (Rada Europejska, 2015). W monografii przedstawiono interdyscyplinarną analizę przyczyn, możliwości i ograniczeń, a także dostępnych i oczekiwanych metod realizacji wyznaczonego celu.

W dziewięciu rozdziałach opracowania przedstawiono wyniki pracy badawczej z różnych dyscyplin. Autorzy reprezentują różne ośrodki naukowe w Polsce, a jeden z nich pracuje na Uniwersytecie Cambridge (UK). Wszystkie opracowania nawiązują do pytania badawczego o podstawowym znaczeniu: czy elementem strukturalnych przemian stanie się skuteczna polityka publiczna skierowana na przeciwdziałanie zmianom klimatu na naszej planecie?

Aby zrozumieć wagę tego problemu, warto się odwołać do dwóch scenariuszy realizacji programu, który przewiduje, że do 2050 r. w Europie zostanie osiągnięty stan wyzerowanego bilansu emisji i absorpcji gazów cieplarnianych (ang. *greenhouse*

gases – GHG). Jeden ze scenariuszy odnosi się do gospodarki w Polsce, a drugi – do gospodarki w Niemczech (Rys. 1).



Rys. 1. Cele i projekcja zmniejszania emisji GHG w Polsce i w Niemczech do 2050 r.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Engel, H. et al. (2020). *Neutralna emisyjnie Polska 2050. Jak wyzwanie zmienić w szansę?* McKinsey & Company; Elmer, C.-F. (2019). *Agora-Verkehrswende. Auf dem Weg nach Paris. Implikationen des Paris-Abkommens für den Klimaschutzbeitrag des Verkehrs.* Berlin Climate: Analytics.

W obu przedstawionych scenariuszach można zauważyć brak znaczącego efektu redukcji emisji w okresie 2015–2019, tj. już po zawarciu porozumienia paryskiego. Jednocześnie w każdym z nich odmiennie przedstawiono oczekiwane zmniejszenie emisji w kolejnych trzech dekadach. Oczywiście trzeba uwzględnić modelowy charakter tych scenariuszy. Ale w 2020 r. powinny być znane uszczegółowione plany osiągnięcia efektów w perspektywie do 2025 r. oraz ramy programów, które mają zostać zrealizowane do 2030 r. Porównywanie sytuacji w Polsce i w Niemczech ma tym bardziej sens, że w obu krajach przez wiele dekad w sektorze produkcji energii elektrycznej dominującą rolę odgrywały elektrownie spalające węgle (kamienny i brunatny). W Niemczech w lipcu 2020 r. podjęto decyzję, że ostatnia z takich instalacji zostanie wyłączona w 2038 r. (w tym oddany w czerwcu br. najnowszy blok na węgiel kamienny Datteln 4). W Polsce zaś kontynuowane są projekty rozbudowy potencjału elektrowni spalających węgiel, a decyzji o zatrzymaniu ich eksploatacji nadal nie podjęto.

W opracowaniu nie ma odrębnej analizy sytuacji w sektorze energetycznym. Jest to temat zasługujący na oddzielną publikację. Wskazane są natomiast konsekwencje sytuacji, że w Polsce w najbliższych dekadach nie dojdzie do znaczącej zmiany w strukturze miksu energetycznego, a to oznacza, że produkcja energii elektrycznej pozostanie wysokoemisyjna i będzie się odróżniać od modelu europejskiego i pozostanie w modelu amerykańsko-azjatyckim. Liczebność elektrowni węglowych w krajach, w których tych obiektów jest najwięcej, przedstawia tabela 1.

Tab. 1. Liczebność elektrowni węglowych w krajach eksploatujących najwięcej takich obiektów – stan na koniec czerwca 2020 r.

Kraj	Liczba elektrowni spalających węgiel
Chińska Republika Ludowa	1077
Indie	281
Stany Zjednoczone Ameryki Północnej	263
Japonia	84
Rosja	83
Indonezja	77
Niemcy	74
Polska	49
Pozostałe kraje na świecie	464

Źródło: Brandt, M. (2020). *2/3 aller Kohlekraftwerke stehen in China, Indien und den USA*. Statista. Pozyskano z: <https://de.statista.com>

Ponieważ do 2019 r. w żadnym kraju europejskim nie powstał kompleksowy program realizacji polityki klimatycznej, Komisja Unii Europejskiej podjęła inicjatywę przyspieszenia i skoordynowania działań w zakresie ograniczania zmian klimatycznych, przypisanych do polityki publicznej. Jesienią 2019 r. został opublikowany dokument *Europejski Zielony Ład* (EZŁ). Uwzględniając doświadczenia z okresu pandemii, zarówno w organach UE, jak i na szczeblu władz państwowych w krajach członkow-

skich, powtórzono deklarację, że programy odbudowy gospodarki po pandemii będą obejmowały działania prowadzące do osiągnięcia w 2050 r. zerowego bilansu emisji GHG w Europie.

Podstawowe wątpliwości rozważane w monografii dotyczą metod, które zostaną zastosowane w fazie realizacji programu EŻL z uwzględnieniem uwarunkowań jego realizacji. Układ treści całego opracowania został ustalony według następującego ciągu logicznego: (1) czego chce człowiek i czy jest gotów do konsekwentnego podążania ścieżką prowadzącą do wytyczonego celu, (2) co jest treścią polityki klimatycznej, (3) jakie jest powiązanie między polityką klimatyczną a polityką środowiskową, ukierunkowaną na utworzenie gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ), (4) jakie efekty można uzyskać, dążąc do zmniejszenia potrzeb energetycznych w fazie budowy i eksploatacji obiektów kubaturowych, w warunkach klimatu europejskiego z dwoma okresami: grzewczym i użytkowania klimatyzacji, (5) jakie efekty może przynieść wdrożenie innowacyjnych rozwiązań w tzw. zielonych łańcuchach dostaw, (6) na ile mieszkańcy Europy, w której jedną z wiodących gałęzi jest przemysł motoryzacyjny, mogą zmienić swój model konsumpcji i w mniejszym stopniu korzystać z motoryzacji indywidualnej, (7) jakie efekty mogą przynieść zmiany w strukturze systemów komunikacji indywidualnej i zbiorowej funkcjonujących na terenach zurbanizowanych, (8) na ile zastosowanie technik absorpcji CO₂ może skutecznie przyczynić się do osiągnięcia zerowego bilansu emisji GHG, (9) jakie mogą być potencjalne ekonomiczne konsekwencje realizacji polityki klimatycznej.

W pierwszym rozdziale Wojciech Paprocki rozważa zachowanie *homo sapiens* i jego relacje z naturą. Autor wyraża wątpliwość, czy uda się pozyskać akceptację społeczną dla realizacji polityki klimatycznej. Można się spodziewać, że osiągnięcie celu będzie wymagało ograniczenia ilościowego i zmian strukturalnych potrzeb konsumpcyjnych zaspokajanych indywidualnie i zbiorowo. Sformułowane zostało przypuszczenie, że w gospodarce rynkowej, uzyskującej cechy gospodarki o obiegu zamkniętym i wykorzystującej prawie wyłącznie technologie bezemisyjne, uda się osiągnąć wytyczone cele polityki publicznej przede wszystkim dzięki innowacyjnej postawie przedsiębiorców prywatnych. Można się zgodzić z opinią, że inwestorzy oraz menedżerowie wyrządzili w przeszłości wiele zła, dewastując przyrodę. Ale właśnie to grono ma największą siłę sprawczą, aby zmienić tę złą praktykę prowadzenia działalności gospodarczej (Otto, 2020). Przesłanką dla zaangażowania się prywatnych przedsiębiorców w tworzenie gospodarki eko-społecznej może być ich troska o los własnych wnuków. Kontynuacja złych praktyk grozi bezpośrednio życiu kolejnych pokoleń, a coraz powszechniejsza jest świadomość, że bogaci będą oddychali tym samym skażonym powietrzem, co pozostałe grupy społeczne, i mieszkali na wspólnym globie, na którym będzie wzrastać częstotliwość występowania zjawisk klimatycznych, meteorologicznych i hydrologicznych o niszczycielskim charakterze.

Konrad Szpak w rozdziale drugim przedstawił cele i znaczenie polityki klimatycznej, a także ramy prawne jej realizacji. Omówił wdrożone narzędzia tej polityki, w tym system handlu uprawnieniami do emisji (ETS). Autor sformułował ocenę polityki klimatycznej przy wykorzystaniu kryteriów stosowanych przy ewaluacji polityk publicznych: trafności, skuteczności, wydajności, użyteczności i trwałości.

Kształtowanie gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) i jej powiązanie z polityką klimatyczną omówiła w rozdziale trzecim Joanna Kulczycka. Autorka przedstawiła główne założenia koncepcji GOZ i modele biznesowe przewidziane do jej zastosowania w gospodarce oraz podała dane dotyczące wielkości emisji CO₂ z paliw kopalnych w różnych sektorach gospodarki, w których są one wykorzystywane.

W rozdziale czwartym Michał Drewniak przedstawił możliwości redukcji energochłonności w budownictwie. Analiza dotyczy zarówno zużycia energii i możliwości jego redukcji w przemyśle materiałów budowlanych, w tym cementu i stali, jak i zużycia energii w trakcie eksploatacji budynków i budowli. Autor przeanalizował możliwości minimalizowania energochłonności, które można stosować „od dziś”, a także przewidziane do zastosowania „od jutra”.

Zielone łańcuchy dostaw 4.0 zostały opisane przez Katarzynę Nowicką w rozdziale piątym. Autorka omówiła znaczenie informacji, jako jednego z narzędzi sterowania łańcuchami dostaw, w tym tych dotyczących emisji GHG. Autorka przedstawiła również części składowe zielonych łańcuchów dostaw: zielone zamówienia, produkcję, dystrybucję i zielony transport, a także logistykę odwrotną (dotyczącą obsługi odpadów i procesów utylizacji).

Jakub Zawieska przedstawił w rozdziale szóstym koncepcję Auto 2.0 i opisał proces ewolucji modelu konsumpcji oraz miejsce samochodu osobowego w systemie zaspokajania zróżnicowanych potrzeb mobilności mieszkańców Europy. Omówił cechy pojazdów elektrycznych i pojazdów autonomicznych oraz zestawiał szacowane koszty redukcji emisji CO₂ z sektora transportu w perspektywie 2030 r., a także analizę różnicowości w postawie konsumentów dotyczących deklarowanej świadomości i faktycznej gotowości do zastąpienia własnego samochodu z silnikiem spalinowym pojazdem z silnikiem elektrycznym zasilanym z baterii (ang. *electric battery vehicle*, BEV).

Rozdział siódmy poświęcony jest analizie procesu ograniczania w metropoliach emisji GHG z transportu. Wojciech Szymalski przedstawia dane empiryczne uzyskane podczas badań przeprowadzonych w Warszawie i komentuje wyniki symulacji zmiany poziomu emisji w poszczególnych scenariuszach zmian oferty transportu zbiorowego oraz zachowań konsumentów. W rozdziale tym ujawnione jest zjawisko konfliktu celów polityk publicznych: klimatycznej i środowiskowej. Jeśli samorządy terytorialne inwestują w relatywnie drogi tabor autobusowy z silnikami elektrycznymi, to w warunkach ograniczeń budżetowych pozbywają się możliwości zakupu nowoczesnego taboru z silnikami spalinowymi, spełniającymi zaostrzone normy środowiskowe, i wycofywania starych autobusów, które takich norm nie spełniają. Autor sformułował wnioski, zgodnie z którymi w Polsce i każdym innym kraju efekty elektryfikacji transportu drogowego są przede wszystkim uzależnione od struktury miksu energetycznego, wynikającej z doboru technologii i paliw wykorzystywanych do produkcji energii elektrycznej.

Małgorzata Kacprzak opisała w rozdziale ósmym możliwości usuwania CO₂ z atmosfery. Omówiła zalety i wady poszczególnych metod, a także wyzwania, którym trzeba sprostać przy wprowadzeniu do eksploatacji na skalę masową poszczególnych technologii usuwania dwutlenku węgla i jego magazynowania. Autorka wskazuje, że w Polsce już przyjęte do realizacji programy nie są kontynuowane, co powoduje, że założone efekty, które miały być dość skromne, nie są osiągnięte.

W rozdziale dziewiątym Marcin Mrowiec omawia ekonomiczne aspekty polityki klimatycznej. Przedstawił zagrożenie, jakim jest udzielanie przez władzę publiczną silnego wsparcia wybranym przedsiębiorstwom, które deklarują zdolność do przygotowania nowych rozwiązań technologicznych, co może wywołać zjawisko oligopolizacji wielu sektorów gospodarczych. Z analizy prawidłowości ekonomicznych wynika, że przy braku na rynku silnej konkurencji liderzy mogą stosować praktyki monopolistyczne. Efektem tego zjawiska będzie oferowanie rozwiązań technologicznych pożądaných z punktu widzenia polityki klimatycznej, ale po zawyżonych cenach. W rezultacie może dojść w gospodarce do niepożądanego transferu zawyżonych zysków do podmiotów, które poprzednio uzyskiwały pomoc publiczną. Ciężar realizacji polityki klimatycznej ponieśli by w takim scenariuszu konsumenci.

Redaktorzy przedstawionego opracowania formułują swoje podstawowe wątpliwości. Przede wszystkim, czy politycy i urzędnicy, którzy przygotowali i ogłosili różne dokumenty dotyczące polityki klimatycznej (opisanej w rozdziałach drugim i trzecim), byli w stanie racjonalnie ocenić prawdopodobieństwo uzyskania wytyczonego celu, tj. ukształtowania w Europie do 2050 r. gospodarki zeroemisyjnej. Z treści rozdziałów czwartego, piątego, siódmego i ósmego wynika, że już wdrożone oraz przygotowywane technologie nie zapewnią jego osiągnięcia. Treść rozdziałów pierwszego i szóstego wskazuje natomiast, że ewolucja postaw i preferencji konsumentów nie musi przebiegać zgodnie ze scenariuszem przewidującym dostosowanie wielkości i struktury konsumpcji do wymagań zapisów polityki klimatycznej. W rozdziale dziewiątym jest opisany aspekt makro- i mikroekonomiczny realizacji polityki klimatycznej.

Skoro *homo sapiens*, który pozostaje wrażliwym, a w pewnym zakresie wręcz bezbronny wobec działania sił natury, chce uniknąć zagłady, kontynuując swój byt w świecie realnym, to powinien szukać dwóch rozwiązań.

Po pierwsze może, dzięki trwającej transformacji cyfrowej, znacznie zwiększyć skuteczność procesu kształcenia, zarówno dzieci oraz młodzieży, jak i osób dorosłych. Nie można się jednak łudzić, że doskonaląc swoje kompetencje w zakresie stosowania nowych technologii, w tym rozwiązań sztucznej inteligencji, „uda się zdominować przyrodę dzięki technice” (Precht, 2020). Każdy mieszkaniec Ziemi, prowadzący indywidualne i zbiorowe życie, musi przyjąć do wiadomości, że nasza planeta już na początku lat 70. XX w. osiągnęła granicę autoadaptacji środowiska naturalnego do skutków działalności człowieka. Tego faktu nie można więc dłużej ignorować. Europejczycy mogą stać się pierwszą społecznością w skali globu, która zrozumie i zaakceptuje korektę sposobu codziennego życia, obejmującego procesy wytwarzania, dystrybucji oraz konsumpcji. Efektem ma być m.in. utworzenie bezemisyjnej gospodarki o obiegu zamkniętym.

Po drugie, występując w roli *homo economicus*, który funkcjonuje w gospodarce rynkowej, każdy uczestnik tego rynku ma szansę na osiągnięcie swojego indywidualnego, komercyjnego sukcesu. Długotrwałość tego sukcesu zapewni połączenie efektów mikroekonomicznych z efektami społecznymi poprzez realizację koncepcji gospodarowania *More from Less* przedstawionej przez amerykańskiego specjalistę z zakresu rozwoju nowych technologii Andrew McAfee (McAfee, 2019). Skuteczne wdrożenie tej koncepcji wymaga samoograniczenia działań władzy publicznej i da-

nia znacznej swobody innowatorom, występującym w roli prywatnych przedsiębiorców. To oni są zdolni zaoferować proklimatyczne wyroby rzeczowe, dobra wirtualne oraz usługi, a także wdrożyć nowe modele biznesowe. Modele te zapewniają pozyskanie efektywnego popytu przez konsumentów, którzy dostosowują swe postawy do realizacji wymogów polityki klimatycznej.

Ostatnią kwestią, która może nurtować uczestników Europejskiego Kongresu Finansowego, jest pytanie, czy realizacja w Europie lokalnej polityki European Green Deal, wpisującej się w Global Green New Deal, może przynieść zyski. Amerykański teoretyk ekonomii Jeremy Rifkin, powołując się na liczne kontakty z przedstawicielami różnych sektorów gospodarki, stwierdza: inwestorzy, przedsiębiorcy i menedżerowie potwierdzają, że jest to możliwe (Rifkin, 2019). Takie same słowa wypowiedzieli uczestnicy debaty *Ochrona powietrza, kryzys wodny, zielona energia – rola sektora finansowego w rozwoju programów i narzędzi wspierających zrównoważoną transformację*, która odbyła się 16 czerwca 2020 r. podczas Kongresu EKF on-line.

Oddając Czytelnikom tę monografię, liczymy na owocną debatę oraz kontynuację dyskusji o możliwościach i barierach realizacji polityki klimatycznej po X Europejskim Kongresie Finansowym Sopot 2020 w październiku br.

Dziękujemy recenzentom – Pani Profesor dr hab. inż. Elżbiecie Pietrzyk-Sokulskiej, em. prof. IGSMiE PAN, oraz Panu Profesorowi dr hab. Piotrowi Banaszykowi za pozytywną ocenę całości opracowania i za cenne uwagi, które pomogły poprawić nasze teksty. Dziękujemy także Pani Aleksandrze Vitoux wraz z zespołem za redakcyjne i graficzne opracowanie tekstu, a Pani Elżbiecie Marquardt za wsparcie w wydaniu monografii.

Jerzy Gajewski
Wojciech Paprocki

Bibliografia

- Brandt, M. (2020). *2/3 aller Kohlekraftwerke stehen in China, Indien und den USA*. Statista. Pozyskano z: <https://de.statista.com>
- Elmer, C.-F. (2019). *Agora-Verkehrswende. Auf dem Weg nach Paris. Implikationen des Paris-Abkommens für den Klimaschutzbeitrag des Verkehrs*. Berlin Climate: Analytics.
- Engel, H. et al. (2020). *Neutralna emisja polska 2050. Jak wyzwanie zmienić w szansę?* McKinsey & Company.
- Otto, M. (2020). *Wertbewusstsein nimmt bei Kunden zu*. Morning Briefing. Pozyskano z: <https://news.gaborsteingart.com/r/nupOqh3149791ms5830.html>
- Rada Europejska. (2015). *Paryska Konferencja Klimatyczna*. Pozyskano z: www.consilium.europa.eu
- Rifkin, J. (2019). *Der Globale Green New Deal. Warum die fossil befeuerte Zivilisation um 2028 kollabiert – und ein kühner ökonomischer Plan das Leben auf der Erde retten kann*. Frankfurt/Nowy Jork: Campus Verlag.
- Precht, R. D. (2020). *Künstliche Intelligenz und der Sinn des Lebens*. Monachium: Goldmann.
- Vöpel, H. (2020). *Disruption. Neuvermessung einer ver-rückten Welt*. Norderstedt: BoD-Book on Demand.



Wojciech Paprocki

Prof. dr hab. Wojciech Paprocki jest dyrektorem Instytutu Infrastruktury, Transportu i Mobilności Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie. Autor i współautor wielu książek i artykułów opublikowanych w j. polskim i w j. obcych, m.in. *Dewiacje finansjalizacji* (współredaktor, 2019), *Elektromobilność w Polsce na tle tendencji europejskich i globalnych* (współredaktor, 2019), *Polski archipelag rozwoju w warunkach globalnej niepewności* (współautor, 2018), *Mobilność w aglomeracjach przyszłości* (współredaktor, 2018), *E-mobiność: wizje i scenariusze rozwoju* (współredaktor, 2017), *Firma-Idea oraz rozwój technologii a interwencjonizm* (współautor, 2018), *Cyfryzacja gospodarki i społeczeństwa. Szanse i wyzwania dla sektorów infrastrukturalnych* (współredaktor, 2016), *Transport Development Challenges in the Twenty-First Century* (współautor, 2016), *Megatrendy i ich wpływ na rozwój sektorów infrastrukturalnych* (współredaktor, 2015), *Dylematy rozwoju infrastruktury* (współredaktor, 2014). Prace badawcze koncentrują się wokół następujących zagadnień: rozwój gospodarki cyfrowej, wdrażanie technologii cyfrowych, w tym rozwiązań sztucznej inteligencji, ekonomika transportu i polityka transportowa, rozwój infrastruktury technicznej, zarządzanie łańcuchami dostaw.

<https://orcid.org/0000-0002-6824-0911>

Jak zmienić postawę *homo sapiens*?

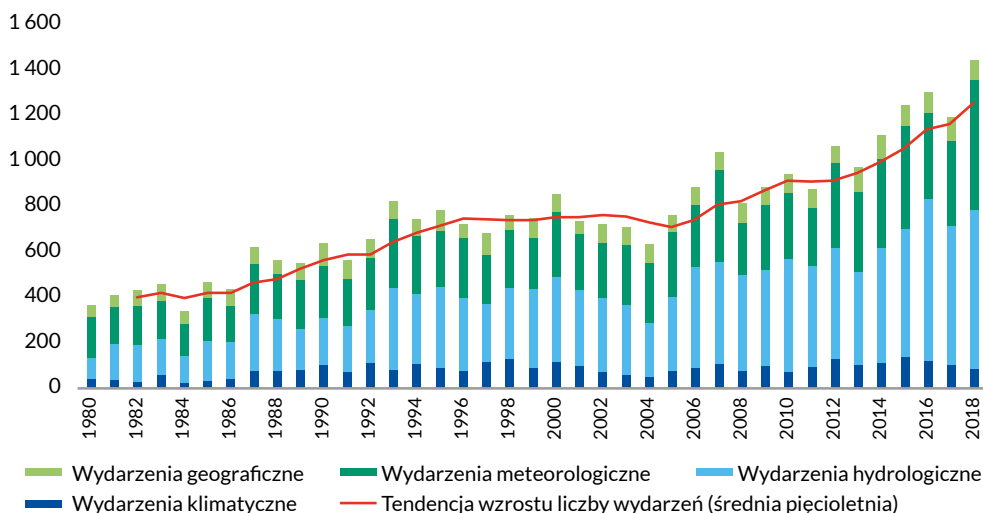
*Nie odkrywa się nowych lądów bez pogodzenia się
ze straceniem z oczu wybrzeża na bardzo długi czas.*

André Gide (1869–1951)

Wstęp

W licznych publikacjach naukowych poświęconych przyrodzie na naszej planecie przedstawiane są różne argumenty potwierdzające tezę, że człowiek w minionych 150 latach, tj. od czasów drugiej rewolucji przemysłowej rozpoczętej w XIX w., prowadził działalność charakteryzującą się stałym i coraz szybszym wzrostem zużycia wyczerpywalnych nośników energii pochodzenia organicznego. Skutkiem narastającej emisji gazów cieplarnianych (GHG), w tym przede wszystkim CO₂, jest wzrost ich udziału w składzie chemicznym atmosfery Ziemi. Zmiany te uznaje się za jedną z przyczyn występowania zjawiska określanego jako ocieplenie się klimatu. W dyskusjach prowadzonych przed wybuchem pandemii COVID-19 koncentrowano się głównie na zagrożeniach, które w przyszłości przyniosą zmiany klimatyczne. Odwoływano się do wizji, która dla licznych grup społecznych nie była na tyle sugestywna, aby mogła być uznana za wiarygodną oraz uzasadniającą zmianę postępowania. Do konsekwencji ocieplenia się atmosfery Ziemi można odnieść się w odmienny sposób, tj. pokazując zmiany, które już nastąpiły. Należy do nich wzrost liczby nadzwyczajnych sytuacji klimatyczno-geologicznych. Fakty są takie, że nie zwiększyła się liczba trzęsień ziemi, natomiast radykalnie wzrosła liczba huraganów, powodzi i długotrwałych suszy. Liczebność zdarzeń i ich strukturę, a także trend zmian zarejestrowanych w latach 1980–2018 przedstawiono na rysunku 1. Prezentowane dane pochodzą z raportu przygotowanego na zlecenie instytucji finansowych Munich Re oraz Goldman Sachs. Monitorowanie wielkości strat gospodarczych wywołanych w przeszłości nadzwyczajnymi sytuacjami pozwala na przygotowanie prognozy, jaka może być wielkość potencjalnych strat w przyszłości. Odwołując się do już dostępnych danych, człowiek nie może się dłużej zastanawiać, czy powinien podjąć wysiłek ograniczenia obciążeń natury, która już utraciła równowagę. Trzeba podjąć krytyczną analizę dotychczasowej filozofii rozwoju cywilizacyjnego i przystąpić do realizacji programów, których celem jest ograniczenie strat ludzkich (życie i zdrowie) oraz materialnych (infrastruktura, w tym budynki mieszkalne, dobra ruchome, uprawy) spowodowanych nadzwyczajnymi zjawiskami. Argumentem jest wyższa wartość strat ponoszonych niż war-

tość nakładów na możliwą prośrodowiskową i proklimatyczną transformację systemu społeczno-gospodarczego.



Rys. 1. Liczba i struktura nadzwyczajnych zdarzeń klimatyczno-geologicznych na świecie w latach 1980–2018

Źródło: Munich Re. (2019). Pozyskano z: <https://300gospodarka.pl/300klimat/7-bilionow-euro-tyle-europa-wyda-przez-30-lat-na-neutralnosc-klimatyczna>

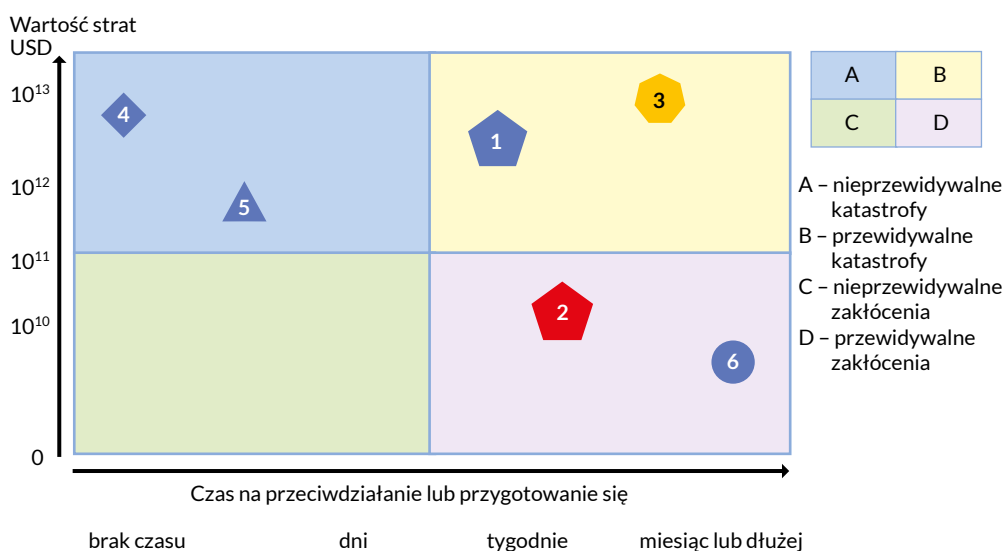
Wydaje się, że zgromadzono już wystarczająco bogatą wiedzę, która uzasadnia podjęcie przez człowieka radykalnej reakcji na zjawiska degradacji natury. Pojawia się zatem pytanie o znaczeniu fundamentalnym dotyczące zdolności społeczności *homo sapiens* do:

- przyswojenia dostępnej wiedzy,
- stosowania racjonalnych kryteriów wyboru przy podejmowaniu decyzji i dostosowywaniu swego zachowania do rozpoznanych, zmieniających się okoliczności.

Pożądanym jest przeprowadzenie otwartej dyskusji obejmującej szerokie grupy społeczne, podczas której ujawnione zostanie całe spektrum potencjalnych strat, które mogą być wywołane nieoczekiwanymi i niekontrolowanymi przez człowieka zjawiskami oraz niepożądanym działaniem człowieka. Ich charakter i szacunkowe wartości strat przedstawione są na rysunku 2. Polityka prośrodowiskowa oraz proklimatyczna zasługuje na akceptację, ale nie może być przedstawiana jako uniwersalne antidotum na wszelkie zagrożenia.

W 2020 r. próbę znalezienia oceny zdolności człowieka do absorpcji współcześnie dostępnej wiedzy i do skorygowania swego zachowania przedstawił kanadyjski psycholog Steven Pinker. Odrzucił on podejrzenie, że człowiek żyjący w XXI w. nie postępuje racjonalnie (Pinker, 2020). Dysponując dostępnymi osiągnięciami nauki i techniki, każdy może kierować się rozsądkiem, tak jak *homo sapiens* czynił to przez wiele tysięcy lat. Człowiek zawsze wykazywał zdolność do korekty sposobu prowadzenia życia. Zatem u prognozy trzeciej dekady XXI w. mieszkańcy Ziemi powinni być zdolni do zbio-

rowej korekty sposobu postępowania, w tym prowadzenia działalności gospodarczej i kształtowania swoich relacji ze środowiskiem naturalnym. Ważny jest ten aspekt powszechności postawy kreowania i akceptowania zmiany. Jednak znacząca większość społeczności z różnych regionów świata nie podjęła decyzji o aktywnym wsparciu projektu przeciwdziałania zmianom klimatycznym, a przyjmując bierną postawę, *de facto* nie wykazuje aprobaty dla jego realizacji. Do tego spotyka się działania pozorne, wśród których za szczególnie szkodliwy należy uznać *greenwashing*. Jest to publiczne lobbowanie za działaniami proklimatycznymi przez podmioty, których jedynie drobna część aktywności wiąże się z realizacją projektów służących ograniczeniu emisji GHG¹, a dominująca część aktywności stanowi kontynuację działalności silnie obciążającej środowisko naturalne, w tym przyczyniającej się do zmian klimatycznych (Narat, 2020).



Legenda:

- 1 – zjawiska klimatyczne o lokalnym zasięgu (np. susze) występujące często i w wielu regionach
- 2 – zjawiska klimatyczne o regionalnym zasięgu (np. huragany) występujące rzadko, ale w coraz większej liczbie regionów
- 3 – pandemie występujące bardzo rzadko regionalnie lub globalnie
- 4 – zjawiska geologiczne (np. trzęsienia) występujące rzadko w różnych regionach
- 5 – akty terrorystyczne występujące rzadko w różnych regionach
- 6 – lokalne konflikty zbrojne występujące rzadko w różnych regionach

Rys. 2. Wybrane zdarzenia nieoczekiwane i niepożądane, potencjalna wartość wyrządzonych przez nie szkód oraz możliwości przeciwdziałania im lub przygotowania się do ich przebiegu

Źródło: opracowanie własne na podstawie Baumgartner et al. (2020). *Reimagining industrial supply chains*. Washington: McKinsey.

¹ Z wypowiedzi Salima Ramja, który w największym na świecie funduszu kapitałowym Blackrock odpowiada za realizację projektów o łącznej wartości 4 500 mld USD, wynika, że do 2020 r. wartość projektów proklimatycznych wynosiła zaledwie 220 mld USD.

Warto rozpatrzyć przyczyny utrzymywania się niechętnego nastawienia społeczeństwa w większości krajów na świecie i dość powszechnego negatywnego ocenia-
nia polityk publicznych: środowiskowej i klimatycznej jako projektów zasługujących na wsparcie. Ciekawe spojrzenie na ten problem przedstawia hiszpański filozof Paul B. Preciado. Dysponując osobistym doświadczeniem zakończenia procesu zmiany płci, proponuje niestandardową interpretację zachowania się całych społeczności pozostających pod wpływem mężczyzn, którzy przez tysiąclecia dominują w procesach podejmowania decyzji o funkcjonowaniu systemu społeczno-gospodarczego. W świecie, w którym rozwój technologii i ich wdrażanie odbywa się prawie bez udziału kobiet, upowszechniała się przez stulecia postawa dominacji, a nie partnerstwa w stosunku do środowiska naturalnego (Preciado, 2018). Standardem zachowania było i pozostaje podporządkowanie sobie wszystkiego, w tym przyrody, w sposób absolutny i bezwzględny. Zatem zachowaniem, które jest traktowane jako „normalne”, czyli zgodne z powszechnie przyjętymi wzorcami, jest bezkrytyczne kultywowanie tej postawy. Kto chciałby zachowywać się inaczej, będzie skrytykowany, że okazuje słabość, czyli postawę przypisywaną „słabszej płci”. Niemniej jednak istotne znaczenie ma rozpatrywanie przesłanek irracjonalnego zachowania się *homo sapiens*, w tym odczuwanego dysonansu poznawczego, przez osoby o różnym poziomie wykształcenia i potencjale intelektualnym (Tavris, Aronson, 2008). To zjawisko polega na tym, że człowiek, kiedy docierają do niego informacje, które pozwalają na budowanie wiedzy sprzecznej z wcześniej ukształtowanymi poglądami, wykazuje subiektywną skłonność do odrzucenia co najmniej części tych nowych i obiektywnie prawdziwych informacji. Występowanie postawy do wypierania części wiedzy o otaczającym świecie potwierdza polski publicysta Edwin Bendyk, który zauważa, że w pierwszej połowie 2020 r. gros ludności w Polsce, bez względu na indywidualną postawę społeczną, nie chciało brać pod uwagę narastających zagrożeń – ani o charakterze ekonomicznym, ani też o charakterze środowiskowym i klimatycznym (Sroczyński, 2020).

W niniejszym rozdziale przedmiotem rozważań jest znaczenie skłonności człowieka do przyjmowania nieracjonalnych postaw. W centrum rozważań znajduje się skutek przyjęcia takiej postawy przez liczne kręgi współczesnego społeczeństwa, co prowadzi do utrzymania, obecnie i w najbliższej przyszłości, braku powszechnej akceptacji dla polityki klimatycznej. Podstawowym celem rozważań jest przedstawienie koncepcji, której wdrożenie pozwoliłoby doprowadzić do przełamania takiej postawy społecznej. Jeśli cel polityki klimatycznej – tj. spowolnienie tempa wzrostu temperatury atmosfery – ma być osiągnięty, to konieczne jest zdefiniowanie różnorodnych narzędzi, których wykorzystanie zapewniłoby większą sprawczość sformułowanych już programów.

W rozważaniach dotyczących przyszłości nie można abstrahować od obrazu, który kształtuje retrospektywna analiza zdarzeń w minionych okresach. W 2020 r. kontynuowana jest debata o możliwych scenariuszach zmian, które mają nastąpić w trakcie epoki określanej jako czwarta rewolucja przemysłowa. Skoro w naszym otoczeniu pojawiają się dokumenty uwzględniające perspektywę 2050 r., a wśród nich np. komunikat Komisji Unii Europejskiej Europejski Zielony Ład (*European Green Deal*), to uzasadnione jest formułowanie projekcji procesów społeczno-gospodarczych o bardzo długim, 30-letnim horyzoncie czasowym. Równie długi, a nawet jeszcze dłuższy okres powi-

nien być przedmiotem analizy retrospektywnej. Opis zmian w funkcjonowaniu systemu społeczno-gospodarczego, które wystąpiły przed trzecią rewolucją przemysłową, w jej trakcie i po niej, umożliwia zidentyfikowanie postawy *homo sapiens* charakteryzującej jego zachowanie jako mieszkańca i gospodarza swojej planety w okresie:

- szybkiego rozwoju techniki,
- umasowienia produkcji,
- realizacji wymiany towarowej o dużym wolumenie na skalę globalną,
- wyzwoleniu skłonności do zaspokajania potrzeb mobilności w formie masowych podróży międzyregionalnych i międzykontynentalnych.

Szczególnie istotne jest zrozumienie tego zachowania od lat 70. XX w., tj. od momentu, ukształtowania i upowszechnienia wiedzy naukowej o przekroczeniu przez człowieka granicy dopuszczalnej ingerencji w środowisko. Znane są opinie, że w minionych 50 latach *homo sapiens* osiągnął skok cywilizacyjny porównywalny z erą rozpoczęcia osadniczego trybu życia i rozpoczęcia uprawy rolniczej dziesięć tysięcy lat temu (Arbib, Seba, 2020, s. 5).

W trakcie przygotowania treści tego rozdziału posługiwano się metodami badawczymi: studiowaniem literatury naukowej o interdyscyplinarnym charakterze, dedukcją, analizą danych statystycznych i modelowaniem działalności społeczno-gospodarczej.

Rozważania koncentrują się na funkcjonowaniu systemu społeczno-gospodarczego w Europie, ale kontekst globalny został uwzględniony w dość dużym zakresie.

1. Europa „Węgla i Stali”

Istniejący współcześnie na kontynencie europejskim system społeczno-gospodarczy został ukształtowany po II wojnie światowej. Nie jest on spójny, mimo że proces integracji europejskiej, zapoczątkowany utworzeniem w 1952 r. Europejskiej Wspólnoty Węgla i Stali, trwa już wiele dekad. Od wybuchu pandemii COVID-19, na początku 2020 r., instytucje wspólnotowe ujawniły nie tylko zdolność do podtrzymywania swojego funkcjonowania w sytuacji kryzysowej, ale nawet wzmocniły więzi integracji. W II kwartale wykreowano nowe czynniki, pod wpływem których ma nastąpić pogłębienie procesu integracji. Ivan Krastev z sofijskiego *Centre for Liberal Strategies* zauważa, że być może Europa zbliża się do „momentu Hamiltona”². Coraz bardziej prawdopodobne staje się bowiem przekształcenie istniejącej formy „wspólnotowej” współpracy międzynarodowej i międzypaństwowej w formę *quasi* federacji państw Europy Środkowej, Południowej i Zachodniej (Krastev, 2020). Będzie to możliwe, jeśli dwa największe państwa UE, tj. Francja i Niemcy, w sposób sformalizowany potwierdzą swą wolę gotowości przejęcia odpowiedzialności za część ciężaru długu publicznego innych krajów członkowskich Unii, w tym Włoch i Hiszpanii. Jeśli to zrobią, w opinii publicznej Europa będzie uznana jako solidarna wspólnota, w której kraje silne gospodarczo udzielają pomocy krajom słabszym, szczególnie odczuwającym skutki kryzysu wywołanego pandemią COVID-19. Jednak nastąpi to *de facto* nie na

² Za moment Hamiltona uznaje się decyzję rządu federalnego USA z 1790 r. zainicjowaną przez ówczesnego ministra finansów Alexandra Hamiltona, kiedy scentralizowano odpowiedzialność za długi publiczne zaciągnięte przez władze poszczególnych stanów.

koszt krajów silniejszych gospodarczo, tylko na koszt przyszłych pokoleń z wszystkich krajów członkowskich. Lansowane zatem w mediach hasło *Next generation EU* może mieć zupełnie inne znaczenie – Europa będzie realizować ambitne plany na kredyt, który spłacać będą kolejne generacje (Stark, 2020).

Dla oceny, czy w najbliższej przyszłości będzie można pogłębić proces integracji europejskiej, warto przeanalizować dwa etapy historyczne, które można wyodrębnić dla całego minionego okresu powojennego. Pierwszy z tych etapów obejmuje lata 1945–1990, a drugi – 1991–2019.

W trakcie obu etapów kumulowane były doświadczenia w dwóch zakresach, którym można przypisać fundamentalne znaczenie. Pierwszy z nich odnosi się do ewolucji systemów polityczno-gospodarczych, czyli zmian instytucjonalnych. Drugi natomiast dotyczy ewolucji charakteru procesów gospodarczych i oceny jej skutków. Oba doświadczenia miały wpływ na sposób postrzegania gospodarowania nośnikami energii oraz skutków ich wykorzystywania (Europa Węgla), a także kształtowania potencjału przemysłowego (Europa Stali). W dyskusji o polityce klimatycznej konieczne jest uwzględnienie zdarzeń z przeszłości, aby dysponując tą wiedzą, móc zrozumieć, jakie zmiany mogą zostać zaakceptowane przez społeczeństwo europejskie, a jakie będą kontestowane.

1.1. Ewolucja systemów

Etap budowania ładu po II wojnie światowej. Należy oddzielnie rozpatrywać zmiany zachodzące w Europie Wschodniej i Środkowej od tych w Europie Południowej i Zachodniej. Uwagi dotyczące procesów zachodzących w innych regionach świata mają w tej analizie charakter uzupełniający.

Podstawowe znaczenie ma konstatacja, że gospodarka w zniszczonych w czasie wojny krajach europejskich, które już od 1944 r. stopniowo, wraz z marszem Armii Czerwonej na Zachód, były wchłaniane do obszaru oddziaływania Związku Socjalistycznych Republik Radzieckich, nie podołała stawianym wyzwaniom. Zamiast bowiem zapewnić zacofanym gospodarczo i społecznie społeczeństwom powszechny i równy dostęp do dobrobytu materialnego i intelektualnego, dopuszczono w tych krajach do degeneracji potencjału kadrowego i rzeczowego, doprowadzając ostatecznie do niszczącej implozji systemu społeczno-gospodarczego. W pierwszej powojennej dekadzie odnotowano sukcesy, m.in. elektryfikację wsi oraz utworzenie przemysłu ciężkiego, w tym wydobywczego i sektora energetycznego wykorzystującego głównie węgiel brunatny i kamienny. Powstała swoista Europa Wschodnia Węgla i Stali, w której ważnymi centrami była Nowa Huta i Górnośląski Okręg Przemysłowy. W kolejnych dekadach słabości strukturalne gospodarki zaczęły być bardziej dotkliwe. Pierwotnie konsumpcja w tej części kontynentu była na równie niskim poziomie, jak we wszystkich strefach okupacyjnych pokonanych Niemiec i nie wzrastała w porównywalnym tempie do wzrostu w Europie Zachodniej. Mur berliński, wzniesiony w 1961 r., stał się symbolem podziału nie tylko politycznego, lecz także coraz bardziej widocznego różnicowania gospodarczego między Wschodem a Zachodem Europy. W dekadzie lat 80. XX w. gospodarka nakazowo-rozdzielcza utraciła prawie całkowicie zdolność do

realizacji zadań wytyczanych w planach rozwoju społeczno-gospodarczego poszczególnych krajów bloku wschodniego, nieudolnie koordynowanych w Radzie Wzajemnej Pomocy Gospodarczej (RWPG) z siedzibą w Moskwie. Jedną z przyczyn porażki gospodarczej w Europie Wschodniej i Centralnej była nieracjonalna gospodarka nieodnawialnymi zasobami nośników energetycznych oraz kierowanie dużych ilości stali dla przemysłu ciężkiego, w tym producentów uzbrojenia konwencjonalnego.

Etap transformacji ustrojowej. Na początku lat 90. XX w. grupa państw bloku sowieckiego, bez Chińskiej Republiki Ludowej, Republiki Kuby oraz Koreańskiej Republiki Ludowo-Demokratycznej, ale z Rosją i Polską, odstąpiła od kontynuowania budowy polityki tzw. realnego socjalizmu. Nastąpiła restytucja gospodarki rynkowej, której towarzyszyła próba ukształtowania społeczeństwa demokratycznego, funkcjonującego zgodnie z ustanowionym po II wojnie światowej wzorcem północno-atlantyckim systemu społeczno-gospodarczego. Analizując osiągnięty po 1989 r. dorobek Polaków, można uznać, że proces transformacji ustrojowej przyniósł wiele pozytywnych efektów, w tym znaczący wzrost PKB *per capita* oraz konsumpcji indywidualnej. Nadal jednak utrzymuje się duży udział ludności (w 2019 r. 40%) żyjącej w niedostatku (GUS, 2020). Węgiel i stal jako symboliczne produkty epoki powojennej straciły jedynie częściowo znaczenie w szybko modernizującej się gospodarce krajów postsocjalistycznych. Analizując proces zmian w tych krajach, nie wolno pomijać niepowodzeń, np. pozbawienia liczących się grup społecznych szansy na współudział w procesie awansu ekonomicznego oraz niedostateczny rozwój jakościowy sektorów publicznych. W zakresie budowania kapitału społecznego nie uwzględniono w ogóle edukacji prośrodowiskowej, a potrzeba przeciwdziałania zmianom klimatycznym, po zawarciu porozumienia paryskiego w 2015 r., jest celowo pomijana w kształceniu kolejnych roczników młodzieży. Do chwili obecnej społeczność krajów postsocjalistycznych charakteryzuje brak zauważalnego zaangażowania młodzieży w ruchy proekologiczne, w tym klimatyczne. W systemie politycznym tych krajów partie Zielonych nie odgrywają żadnej liczącej się roli, gdyż uwaga społeczna jest skoncentrowana nadal na wytwarzaniu i dystrybucji dóbr oraz ich indywidualnej konsumpcji, a nie na sposobie wytwarzania tych dóbr i usług oraz ich użytkowania lub konsumowania. Natomiast istotne jest, czy zainteresowanie zagadnieniami środowiskowymi i klimatycznymi obejmie szersze grupy społeczne, gdy kolejne roczniki generacji Z, tj. urodzonych po 1996 r., osiągną wiek uprawniający do uczestnictwa w wyborach politycznych.

W Polsce od 1970 r., tj. od momentu przejścia przywództwa w Polskiej Zjednoczonej Partii Robotniczej (PZPR) przez Edwarda Gierka, pracującego w młodości w belgijskiej kopalni węgla kamiennego, na co dzień i od święta gloryfikowano pojęcie „czarne złoto”. Nawet już po transformacji ustrojowej i reformach gospodarczych kontynuowano politykę preferowania górnictwa węgla kamiennego (i brunatnego) jako jednej z najważniejszych branż gospodarki.

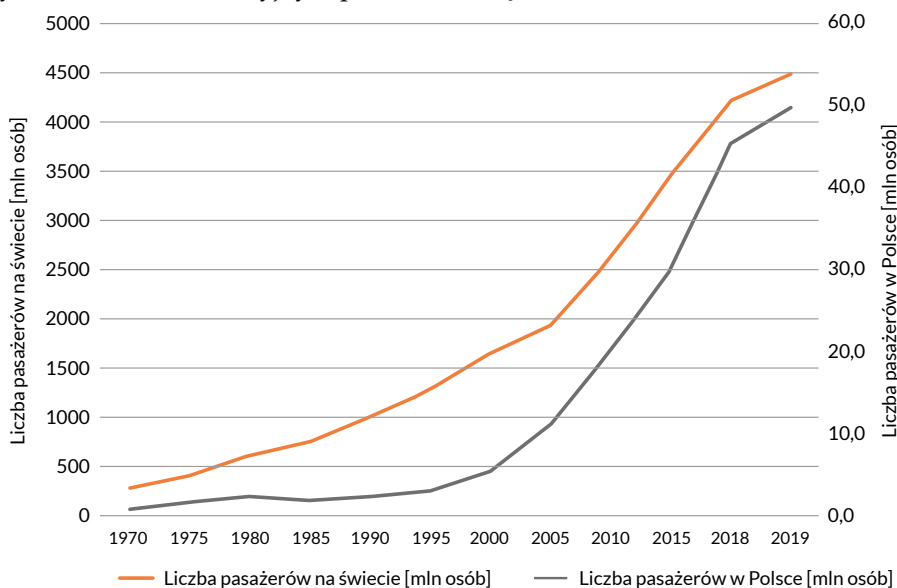
Funkcjonowanie gospodarek Rosji i Ukrainy zależało i nadal zależy od poziomu aktywności sektorów energetycznych i metalurgicznych. W latach 90. XX w., tj. w okresie prezydentury Borysa Jelcyna, w Rosji brak było alternatywnej strategii rozwoju. Już wówczas uznano, że podstawowym źródłem finansowania wydatków publicznych będzie eksport paliw pochodzenia organicznego (ropy naftowej i gazu ziemnego), a także

innych kopalin i surowców naturalnych oraz półproduktów uzyskiwanych z rudy żelaza oraz metali nieżelaznych. Władimir Putin, sprawujący władzę od 2000 r., profesjonalizował sterowanie gospodarką krajową i zarządzanie instytucjami państwowymi. Przez dwie dekady XXI w. nie znalazł jednak żadnej nowej koncepcji długookresowego rozwoju gospodarczego, której wdrożenie pozwoliłoby na uniezależnienie gospodarki rosyjskiej od funkcjonowania sektora surowcowego. Także w dużej części Ukraina, w tym terytorium Donbasu, pozostaje uzależniona od przemysłu wydobywczego. Bogactwo oligarchów w Rosji i Ukrainie w znacznej mierze powstało dzięki wpływom dewizowym ze sprzedaży surowców, w tym pochodzących od europejskich importerów paliw, wśród których nadal ważne miejsce zajmują importerzy z Niemiec i Polski.

Szczególne znaczenie mają podpisane między Rosją a Niemcami porozumienia: w 2006 r. o Nord Stream 1, a w 2012 r. o Nord Stream 2. Dotyczą one budowy i eksploatacji dwóch nowych gazociągów zainstalowanych na dnie Morza Bałtyckiego (których eksploatacja pozwala uniknąć tranzytowego przesyłania gazu przez Ukrainę i Polskę). Porozumienia te są filarem programu transformacji energetycznej, którego efektem będzie ewolucja od Europy Węgla do Europy Gazu. Warunkiem wycofania się Niemiec z wykorzystywania zarówno bezemisyjnej energetyki jądrowej, jak i z wysoko emisyjnej energetyki węglowej było uzyskanie dostępu do paliwa, które zapewnia z jednej strony mniejszą emisję GHG, a z drugiej może być skutecznie stosowane w generatorach przystosowanych do elastycznego wykorzystywania ich mocy nominalnej. Przez wiele lat, aż do marca 2020 r., kiedy na globalnym rynku ceny paliw pochodzenia organicznego uległy drastycznemu obniżeniu, władze Rosji mogły przypuszczać, że cena gazu będzie stabilna na wysokim poziomie. Tym samym dostawy gazu za granicę zapewnią przez wiele dekad odpowiednio duże przychody dewizowe. Realizacja instalacji obu gazociągów pokazała, że w minionych latach ani w Niemczech, ani w Rosji nie traktowano serio idei, iż świat w ciągu dwóch–trzech dekad będzie zmierzał do wyeliminowania wszelkich emisyjnych technologii produkcji energii elektrycznej. W przeszłości nie uwzględniano także perspektywy, że do Europy z Kuwejtu i USA będą importowane duże ilości skroplonego gazu LNG (Witsch, 2020). W pierwszych dwóch dekadach XXI w. równie abstrakcyjne wydawało się także wdrożenie bezemisyjnych technologii w procesach wytwarzania produktów przemysłowych, m.in. stali, cementu, czyli podstawowych materiałów wykorzystywanych przy budowaniu farm wiatraków na lądzie i w akwenach morskich.

Wraz z upowszechnianiem instalacji odnawialnych źródeł energii (OZE) okazało się, że po przekroczeniu określonego poziomu potencjału tych instalacji ilość wytwarzanej energii może przekraczać zapotrzebowanie. Przy braku technologii pozwalającej na magazynowanie już wytworzonej energii elektrycznej, pojawiło się wyzwanie, na jaki cel przeznaczać jej nadwyżki. W Europie w 2020 r. ogłoszono, że rozwój OZE pozwoli na rozpoczęcie produkcji „zielonego” wodoru jako paliwa oraz materiału wykorzystywanego do „magazynowania energii elektrycznej”. Strategię przygotowano na szczeblu unijnym (EC, 2020), a także w poszczególnych krajach członkowskich, m.in. w Polsce (Energetyka24, 2020). Chociaż wcześniej prawie nikt tego nie przewidywał, Europa Węgla i Stali zaczęła się bardzo szybko przekształcać w Europę OZE i Wodoru.

W Europie Środkowej w okresie transformacji ustrojowej nastąpił rozwój gospodarczy, który umożliwił szybki wzrost konsumpcji indywidualnej. Spektakularnym przykładem nadrobienia zaległości w zaspokajaniu potrzeb mobilności jest bardzo dynamiczny po 1990 r. rozwój przewozów lotniczych, który nastąpił po okresie ich niedorozwoju w dwóch poprzednich dekadach. Dane pozwalające na porównanie tempa rozwoju przewozów lotniczych na świecie i w Polsce przedstawiono na rysunku 3. Konsumenci na całym świecie, w tym w Europie Środkowej, okazywali coraz bardziej rozbudzoną potrzebę podróżowania po świecie. Była ona coraz pełniej zaspokajana (aż do załamania ruchu lotniczego w marcu 2020 r.) i niewiele osób potrafiło się zdobyć na refleksję odnoszącą się do istnienia relacji między wzrostem przewozów w transporcie lotniczym, charakteryzującym się najwyższym poziomem energochłonności i emisji GHG na jednostkę pracy przewozowej (1 pasażero-km), a szybko wzrastającym poziomem obciążenia środowiska naturalnego. Obserwowane po 1990 r. zachowanie konsumentów z krajów postsocjalistycznych stanowi dobrą ilustrację postawy, która jest popularna w wielu regionach świata: „skoro ci nasyceni konsumenci z Europy Zachodniej i USA mogli przez powojenne dekady cieszyć się z coraz łatwiejszego dostępu do wielu dóbr rzeczowych i usług, to dlaczego teraz my mamy się powstrzymać od zaspokajania naszych rozbudzonych potrzeb”. Od momentu, w którym pragnienie odbycia podróży lotniczej o zasięgu międzykontynentalnym zaczęło się upowszechniać wśród miliardowej populacji Chin i Indii, w transporcie lotniczym prognozowano podwojenie lub nawet zwielokrotnienie liczby podróży. W opublikowanym w 2019 r. dokumencie rządu RP przewidziano, że miliony turystów z różnych regionów świata wkrótce wylądają w planowanym Centralnym Porcie Komunikacyjnym pod Warszawą (CPK, 2020).



Rys. 3. Wielkość pasażerskich przewozów lotniczych na świecie i w Polsce w latach 1970–2019
 Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IATA i GUS.

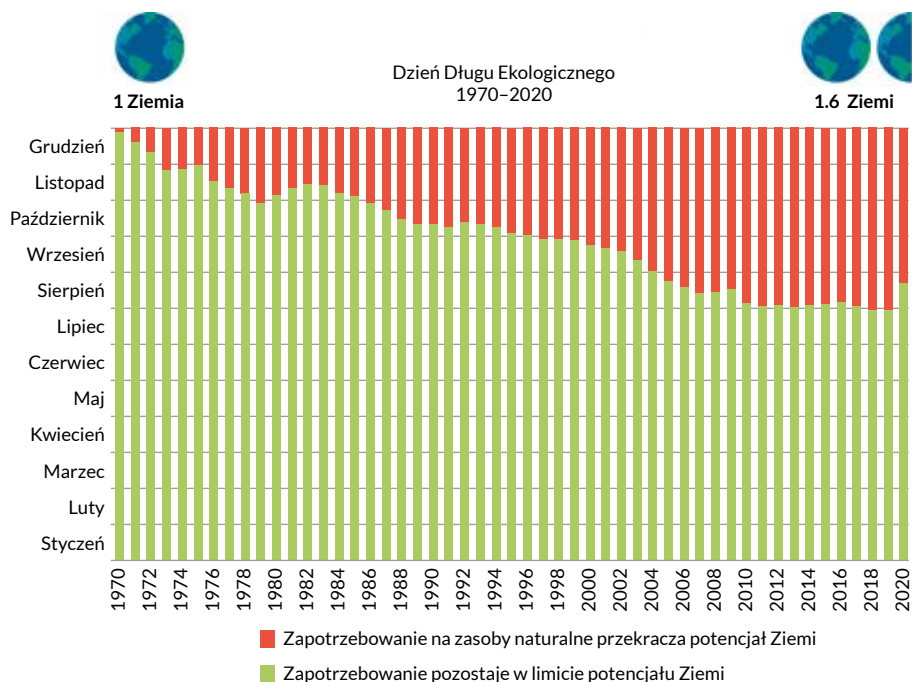
Pozytywny bilans zmian wystąpił w minionych dekadach prawie we wszystkich krajach postsocjalistycznych. Efektem jest to, że w Europie Środkowej i w krajach innych regionów, np. w Socjalistycznej Republice Wietnamu, nie są obserwowane znaczące ruchy społeczne nawołujące do przywrócenia systemu realnego socjalizmu. Odmienna sytuacja występuje w Chinach. Jest to państwo, w którym już w 1978 r. zdecydowano się na zmianę systemu gospodarowania, pozostawiając Chińskiej Partii Komunistycznej pełną kontrolę nad społeczeństwem. Różnymi metodami doprowadzono do spektakularnego rozwoju gospodarczego tego ogromnego powierzchniowo i ludnościowo kraju, czego efektem na początku trzeciej dekady XXI w. jest zajęcie przez Chiny pozycji kandydata na lidera globalnego rynku. Jednym z czynników sukcesu, odnotowywanego w krajach azjatyckich, było odstępianie od standardowej regulacji stosunków między pracodawcami a pracownikami, przewidującej 40-godzinne pensum pracy tygodniowo³ (Erling, 2019). Ciężka praca Chińczyków, ale coraz bardziej wydajna, spowodowała, że w ich kraju dynamicznie wzrastał popyt na nośniki energii. Mimo podjęcia projektów upowszechniania OZE, konieczne było i nadal jest budowanie nowych elektrowni konwencjonalnych, zasilanych coraz większymi ilościami węgla kamiennego. Można by odnieść wrażenie, że *homo sapiens* w Azji stracił instynkt samozachowawczy, decydując się na szybki wzrost aktywności gospodarczej w skali państwa, ponosząc *quasi* dobrowolnie ogromny ciężar tego zbiorowego awansu. Jednym z przejawów tego balastu był i pozostaje wzrost emisji zanieczyszczeń oraz GHG.

1.2. Ewolucja procesów gospodarowania

Przy przejściu od gospodarki industrialnej do postindustrialnej sukces na rynku globalnym osiągały te podmioty gospodarcze oraz całe gospodarki narodowe, które zabiegały o stworzenie efektywnych form współpracy zgodnie z logistyczną koncepcją określaną od lat 70. XX w. jako *just in time*. Celem było ukształtowanie łańcuchów wartości, które charakteryzują perfekcyjnie ukształtowane relacje, z jednej strony między efektami (wyrażonymi w pieniądzu), a z drugiej nakładami (wycenionymi w pieniądzu) niezbędnymi do poniesienia, dla osiągnięcia przewagi konkurencyjnej na rynku. Jednocześnie coraz silniejszym producentom udało się narzucić społecznościom od USA, przez Europę, po Chiny, sposób zachowania charakteryzujący hiperhedonistycznego konsumenta. Prawie całą populację naszej planety nakłoniono do udziału w życiu społeczno-gospodarczym, które zostało poddane regułom obowiązującym w *economy of platforms*: „więcej, szybciej, dalej, aż do zaporcia tchu” (Consumano, Gawer, Yoffie, 2019). W 1997 r. Jeff Bezos (twórca Amazona) sformułował osiem zasad osiągania sukcesu, wśród których jest kardynalne wyzwanie: *Obsess over customers*. Jego treść ujawnia, że wytyczonych celów nie można osiągać bez emocjonalnego zaangażowania, wymagającego przekroczenia granic zdrowego rozsądku. W praktyce oznacza to, że cele należy osiągać „za wszelką cenę”, którą jest ilościowy i teryto-

³ Generacjom X i Y, której przedstawiciele ujawniali początkowo ogromną motywację do wykonywania ciężkiej pracy, został narzucony model organizacji pracy 996. Ofiarami jego stosowania stało się wiele osób, które nie wytrzymały reżimu pracy od 9:00 rano do 9:00 wieczorem, przez 6 dni w tygodniu.

rialny rozwój gospodarczy poza limitem dopuszczalnego obciążenia środowiska naturalnego naszej planety (Hügli, 2020). Społeczność światowa, której elity już od 1972 r., po opublikowaniu Raportu Klubu Rzymskiego (Meadows et al., 1972), miały świadomość, że ludzkość napotka barierę wyczerpywania się zasobów naturalnych, nie zaprzestała eksploracji tych zasobów i nie zmniejszyła tempa wzrostu zagospodarowania surowców i innych dóbr, w tym wody, powietrza, krajobrazu. W konsekwencji występuje ciągły wzrost poziomu „zadłużenia współczesnego człowieka wobec swoich potomków”, co potwierdzają dane przedstawione na rysunku 4. W kolejnych latach skraca się czas osiągnięcia przez człowieka w ciągu roku poziomu adaptacji środowiska do prowadzonej działalności gospodarczej⁴. Im *homo sapiens* bardziej ingeruje w funkcjonowanie planety, tym bardziej ją osłabia, pogarszając warunki, w których będą żyć kolejne generacje. Na uwagę zasługuje fakt, że w Europie Węgla i Stali współczynniki zużycia zasobów naturalnych oraz emisji GHG *per capita* są wyższe niż w większości krajów na innych kontynentach (Wackernagel, 2020).



Rys. 4. Dzień Długu Ekologicznego w latach 1970– 2020

Źródło: opracowanie własne na podstawie *Earth Overshoot Day*. (2020). Pozyskano z: <https://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/>

W 2020 r. coraz większe kręgi społeczeństw w różnych regionach świata uświadamiają sobie, że człowiek faktycznie przekroczył granicę tego, do czego jest w stanie

⁴ Odmienna sytuacja wystąpiła w 2020 r., w którym lockdown związany z pandemią COVID-19 wywołał osłabienie aktywności na całym globie, a tym samym doszło do zmniejszenia obciążenia środowiska. Earth Overshoot Day w 2020 r. był 22 sierpnia.

adaptować się środowisko naturalne. W Europie, przede wszystkim na forum unijnym, zaczyna ujawniać się przeświadczenie, że niezbędna jest korekta postępowania i uzasadnione jest użycie różnych metod, aby pożądane zmiany nastąpiły. Na przełomie lat 2019 i 2020, czyli przed pandemią COVID-19, ogłoszono publicznie w Unii Europejskiej wolę zrezygnowania z powojennej idei rozwoju Europy Węgla i Stali.

2. Wola i postawa jednostki i społeczeństwa oraz zdolność władzy publicznej na ich kształtowanie – doświadczenie z pandemii COVID-19

Obowiązujący w pierwszej fazie pandemii COVID-19 lockdown skłonił wiele osób do ponownego przeanalizowania sposobu postrzegania otaczającego je świata. W wielu miejscach na świecie, po stwierdzeniu pojawienia się koronawirusa SARS-CoV-2 i wykrzyciu u ludzi nowej choroby zakaźnej nazwanej COVID-19, skorzystano z administracyjnego ograniczenia mobilności mieszkańców wyznaczonych regionów (najpierw wielomilionowego miasta Wuhan w ChRL, następnie innych krajów, w tym także Polski). Celem było ograniczenie rozprzestrzeniania się wirusa i przyhamowanie tempa rozwoju epidemii, która szybko przerodziła się w pandemię. Z chwilą, gdy pojawiły się obostrzenia dotyczące fizycznej ruchliwości ludności, szybko skorzystano z dostępnych już od lat rozwiązań technologicznych z zakresu komunikowania się głosem i obrazem z wykorzystaniem technologii ICT. W wielu obszarach działalności społecznej i gospodarczej na masową skalę przeniesiono aktywność ze świata realnego do świata wirtualnego, m.in. w powszechnej formie „edukacji na odległość” oraz w możliwie dużym zakresie „pracy na odległość”, tzw. *home office*. Zaobserwowano dynamiczny rozwój handlu internetowego (ang. *e-commerce*), który na stałe zwiększył swój udział w kanałach dystrybucji dóbr konsumpcyjnych. Lockdown doprowadził do poważnych kłopotów tradycyjne organizacje handlowe, dysponujące licznymi obiektami w centrach dużych i mniejszych miast, w których prawie całkowicie ustał ruch. Nawet po zniesieniu części restrykcji nie nastąpiło przywrócenie poziomu ruchliwości mieszkańców sprzed pandemii (Bridis, 2020). Podczas lockdownu okazało się, że nie wychodząc z domu, można nie tylko pielęgnować już istniejące więzi społeczne, lecz także nawiązywać i zacieśniać relacje z nowymi partnerami. Przy utrzymaniu dystansu fizycznego (ang. *physical distancing*) wśród osób „uwięzionych” w swoich mieszkaniach udało się doprowadzić do zredukowania dystansu społecznego. Praktyki upowszechnione w trakcie lockdownu mają szansę utrzymać się w znacznej części w okresie późniejszym, kiedy będzie kształtować się nowa rzeczywistość (ang. *new normal*). Człowiek dostrzegł różne zalety udziału w życiu społecznym „na odległość”, choć odczuł wyraźnie liczne wady tej praktyki. Prawdopodobne jest budowanie świata hybrydowego, w którym część ruchliwości osób zostanie świadomie i dobrowolnie ograniczona. W wielu przypadkach ruchliwość (ang. *mobility*) zostanie zastąpiona kontaktem wirtualnym (ang. *connectivity*).

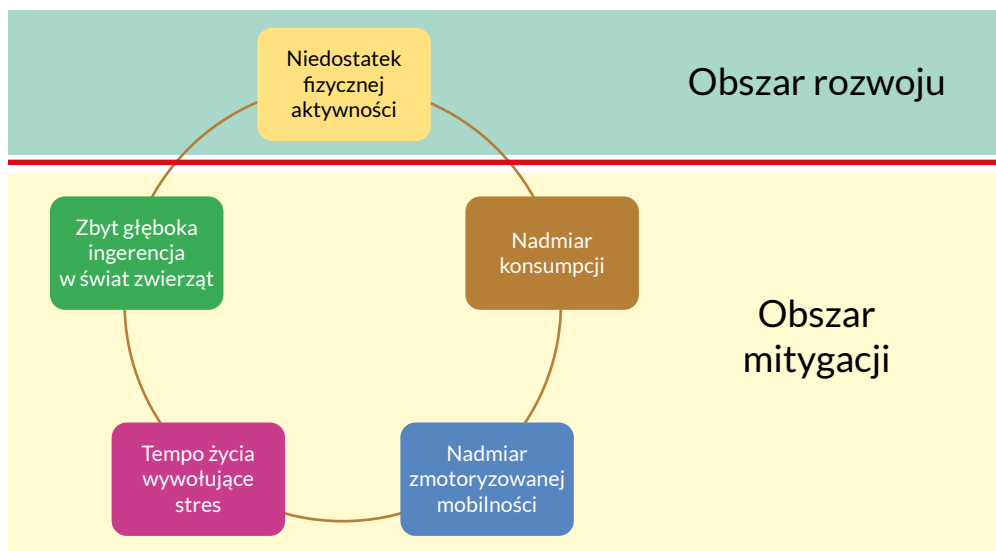
Drugim fenomenem było zwiększone zainteresowanie wiedzą, o czym świadczą rejestry z marca i kwietnia 2020 r. najpopularniejszych haseł w wyszukiwarkach internetowych. Zaczęto intensywnie poszukiwać informacji zdefiniowanych tematycznie, a motywem była chęć rozszerzenia indywidualnej wiedzy. Jednocześnie dużo rzadziej zaglądano do ofert komercyjnych, przygotowanych przez producentów dóbr dość po-

wszechnie kupowanych w internecie. W pierwszej fazie lockdownu upowszechniła się postawa społecznego docenienia kompetencji innych osób, przy domyślnym uznaniu ograniczonego zakresu własnej wiedzy. W kolejnych tygodniach trwania pandemii zauważono powstanie konfuzji wśród wielu użytkowników mediów elektronicznych, której źródłem była narastająca wątpliwość, czy „profesorzy faktycznie dysponują niekwestionowaną wiedzą”. Konfrontacja z wypowiedziami niespójnymi, a nawet wręcz sprzecznymi, uświadomiła, że przedstawiciele elit, w tym reprezentujących środowiska akademickie i lekarskie, nie zapewniają spójnego i kompletnego przekazu informacji o koronawirusie i nowej chorobie, a także o już występujących oraz oczekiwanych skutkach pandemii COVID-19. W szerokich rzeszach społeczeństwa na całej planecie, jak zauważa szwajcarska filozofka Catherine Newmark, ponownie uwidocznił się brak zrozumienia dla tej szczególnej sytuacji, że „naukowiec analizując nowe zjawisko, zawsze przeżywa wątpliwość co do poprawności uzyskanych wyników badań, co jest powiązane z jego sceptyczną samooceną, iż zapewne nie wie dostatecznie dużo o przedmiocie swoich badań” (Läubli, 2020). Powstający dystans do osób, które miałyby być uznawane za autorytety, ma szczególne znaczenie, wtedy gdy podjęta zostanie analiza możliwych w przyszłości postaw społeczeństwa wobec postulowanych przez naukowców zmian w systemie społeczno-gospodarczym, które będą odpowiedzią na rozpoznane wyzwania polityk publicznych: środowiskowej i klimatycznej. Nie można się zatem dziwić, że wiele osób nie akceptuje bezkrytycznie nawet najbardziej oczywistych komunikatów w publikacjach naukowych oraz w dokumentach wydawanych przez władze publiczne.

Analiza porównawcza dwóch ruchów społecznych może być wskazówką co do przebiegu procesu ewolucji postaw mieszkańców Europy wobec wyzwań środowiskowych i klimatycznych. Podejmując analizę retrospektywną, zasadne jest odwołanie się do wiedzy o przebiegu swoistej rewolucji społecznej, określanej mianem „paryskiej wiosny 1968 r.”, oraz do wiedzy o ruchu społecznym, który w sierpniu 2018 r. przyjął nazwę Młodzieżowy Strajk Klimatyczny (*Fridays for Future*). W 1968 r. młodzież dążyła do wyzwolenia się od wpływu autorytetów, w tym od dominacji ojca nad dziećmi. W 2018 r., 50 lat później, 15-letnia (wówczas) Szwedka Greta Thunberg podjęła protest, którego celem było zwrócenie uwagi mieszkańców Ziemi na konieczność docenienia dorobku uczonych i uznania ich za niekwestionowane autorytety. Podstawowym postulatem wyrażanym przez zaangażowanych przedstawicieli generacji Z jest wyciągnięcie wniosków z dostępnej i stale rozbudowywanej wiedzy o poziomie degradacji środowiska i tempie zmian klimatycznych. Upowszechnione jest kategoryczne żądanie, aby *homo sapiens* zmienił sposób swojego życia, chroniąc siebie i kolejne generacje. Liczne grono przedstawicieli środowiska naukowego poparło ten postulat, tworząc platformę *Scientists for Future* (Hagedorn, 2019).

Niemiecki neurolog Joachim Bauer wyraża pogląd, że w 2020 r. będziemy obserwować u wielu osób zachowanie, które można określić jako pogłębioną refleksję występującą w trzecim etapie pandemii COVID-19. O ile w pierwszym etapie dominował strach przed nieznaną chorobą i jej konsekwencjami, a w drugim wystąpiła radość, że lockdown zostaje zniesiony, to w trzecim etapie jest czas, aby każdy indywidualnie się zastanowił, czy może i chce powrócić do sposobu życia, jaki powszechnie

nie występował przed pandemią. Dzięki dostępowi do wiedzy i zrozumieniu, jak duże zagrożenia dla osób różnych generacji wynikają z przeciążenia środowiska planety, coraz więcej osób może zadeklarować dokonanie korekty własnego zachowania, w szczególności w pięciu obszarach (Rys. 5).



Rys. 5. Obszary potencjalnego rozwoju i mitygacji w postawie człowieka

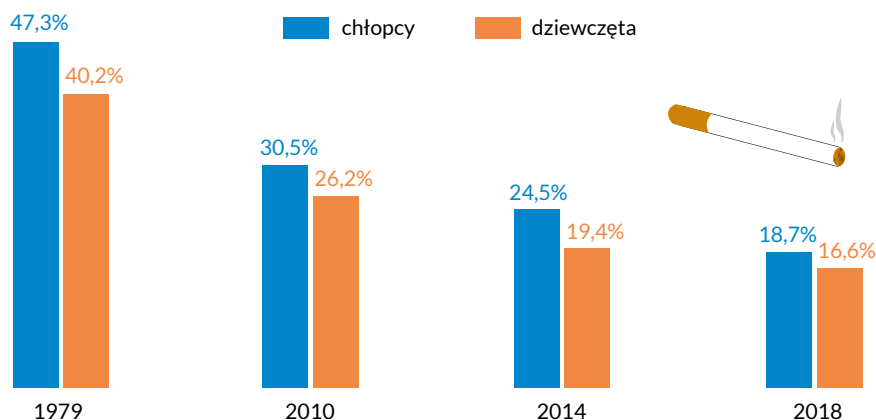
Źródło: Opracowanie własne na podstawie Bauer, J. (2020, 6 czerwca). Wenn wir weiterexistieren wollen, müssen wir verzichten lernen. *Tagesspiegel*.

Odwołując się do zdarzeń, które mają nadzwyczajny charakter, związanych z reakcją społeczną na pandemię COVID-19, można wskazać trzy potencjalne lekcje dla społeczeństwa (Wackernagel, 2020):

- jeśli ktoś sam doświadczył cierpienia lub dotknęło ono bliską mu osobę, to może, chociaż do tej pory wydawało się to niemożliwe, zmienić swoje zachowanie i zaakceptować politykę klimatyczną, aby osiągnąć wspólny cel;
- przed pandemią były zapewne osoby, które rozumiały i akceptowały apel o zaangażowanie się w działania na rzecz ochrony całej planety; bogatsi o nowe doświadczenie powinniśmy zrozumieć, że żyjemy w jednym systemie biologicznym, na który mają wpływ zmiany klimatyczne;
- największe znaczenie ma doświadczenie, że chroniąc siebie, chronimy wszystkich; teraz jest czas, aby zrozumieć, że trzeba zatroszczyć się także o przyszłe pokolenia.

Być może doświadczenie z występowania pandemii COVID-19 okaże się tym krytycznym, które doprowadzi do przełomu w funkcjonowaniu społeczeństw. Ale nie można przeceniać znaczenia zdarzeń, które wystąpiły w 2020 r. W wielu rodzinach na całym świecie w minionych latach umierano na choroby dróg oddechowych, a naukowcy i lekarze zgodnie wskazują, że znaczna część tych zgonów nastąpiła z powodu życia w zanieczyszczonym środowisku, np. atmosferycznym. O tym, że w niektórych grupach społecznych apele autoritetów wsparte działaniami administracyjnymi

przynoszą oczekiwane zmiany postaw, świadczy zmiana nastawienia ludzi, w tym młodzieży, w stosunku do palenia wyrobów tytoniowych. Na rysunku 6 przedstawiono zaobserwowaną w minionych czterech dekadach, wśród młodych osób z Niemiec, malejącą tendencję popularności palenia papierosów.



Rys. 6. Udział osób palących wśród ogółu młodzieży (12–25 lat) w Niemczech w latach 1979–2018

Źródło: Suhr, F. (2020). *Immer weniger Jugendliche in Deutschland rauchen*. Pozyskano z: <https://de.statista.com/infografik/9584/immer-weniger-jugendliche-in-deutschland-rauchen/>

Epoka czwartej rewolucji przemysłowej to okres dynamicznego wzrostu wiedzy i relatywnie łatwego dostępu do niej (przynajmniej potencjalnie). W związku z tym relacja między obywatelem a władzą publiczną nie może powrócić do podporządkowania bazującego na międzypokoleniowej hierarchii, jak było w epoce trzeciej rewolucji przemysłowej. Tę nową relację powinny charakteryzować partnerskie stosunki i możliwość skutecznej weryfikacji przedstawianych racji. Zmiany nastrojów społecznych obserwowane w kolejnych miesiącach trwania pandemii COVID-19 wskazują, że dominacja strachu przed nieznanymi zjawiskami miała wpływ na bezkrytyczne zaufanie do wypowiedzi przedstawicieli nauki. Jednak z upływem czasu narastał krytycyzm wśród rosnącej zbiorowości osób, które wymagały uzasadnienia dla podejmowanych decyzji politycznych i administracyjnych.

Analiza zachowań ludzi podczas pandemii COVID-19 pozwala stwierdzić, że po chwilowym wzroście zainteresowania aspektami zagrożenia mieszkańców planety, może maleć społeczne zaangażowanie w realizacji programów dotyczących ograniczenia zużycia zasobów naturalnych oraz przeciwdziałania zmianom klimatycznym, gdy zakończy się trzeci etap pandemii (Gujer, 2020). To oznacza, że wsparcie społeczne dla realizacji europejskiego programu EZŁ, może po pierwsze nie osiągnąć szerokiego zasięgu, a po drugie z upływem czasu poparcie już osiągnięte może słabnąć. Istotnym czynnikiem może być narastające wśród konsumentów poczucie niedogodności związanej z ograniczaniem ich potrzeb i spadkiem atrakcyjności modelu życia odwołującego się do postawy mitygacji aktywności w wielu obszarach. Redukcja konsumpcji nie musi być *cool*, i nie można oczekiwać, że ascetyczny tryb życia będzie receptą na

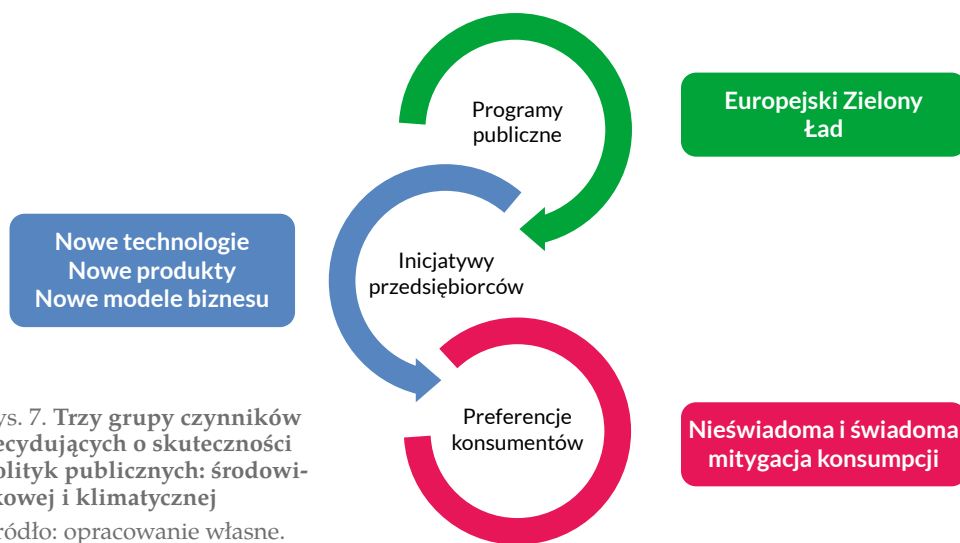
przeciwdziałanie kryzysowi klimatycznemu (Fajfer, 2020). Zatem trudno oczekiwać, że *homo sapiens* będzie uporczywie podążał do osiągnięcia postawy pustelnika, który zaspokaja podstawowe potrzeby egzystencji jedynie na minimalnym poziomie.

3. Znaczenie sukcesu komercyjnego w gospodarce rynkowej

Perski designer Amir Kassaei przez trzy dekady dorosłego życia funkcjonował „po stronie złej mocy”, osiągając na całym świecie spektakularne sukcesy w branży kreowania strategii marketingowych. Podstawowym celem jego działania było nakłanianie ludzi, aby więcej konsumowali. Osiągnano ten cel poprzez skuteczne oddziaływanie na nabywców, którzy już przy podejmowaniu decyzji dotyczących wyboru wyrobów rzeczowych i usług ulegali sugestii producenta i dystrybutora. Zabiegano, aby konsument nie mógł sam krytycznie ocenić zalet lub wad kupowanego towaru, a tym samym skutków społecznych, środowiskowych i klimatycznych dotyczących stosowania różnych technologii przy jego wytwarzaniu i dystrybucji, a także skutków jego konsumpcji i zużycia (tworzenie odpadów). Na początku 2020 r. A. Kassaei postanowił zmienić swoje życie i skoncentrować się na poszukiwaniu metody pozyskania społecznego poparcia dla polityk publicznych: środowiskowej i klimatycznej, podobnie jak wcześniej zrobili to inni liderzy globalnego biznesu. Odwołując się do własnego doświadczenia zawodowego, uznał, że świat nie przekształci się w lepszy (np. w zakresie realizacji polityki klimatycznej) w wyniku zmiany postawy konsumentów, wynikającej z uświadomienia sobie skali zagrożeń, które sam *homo sapiens* wykreował, korzystając z dobrodziejstw trzech rewolucji przemysłowych. Nie należy zakładać, że większość społeczeństwa z własnej woli zdecyduje się na przyjęcie postawy mitygowania się w zaspokajaniu potrzeb. Decydującą rolę mogą natomiast odegrać przedsiębiorcy (prywatni inwestorzy i innowatorzy), którzy muszą dostrzec, że praktyka stosowana w minionych dekadach prowadzi do ich własnej zguby. Zamiast „więcej i taniej” powinno być „maksymalnie dużo zaspokojonych potrzeb przy racjonalnym wykorzystaniu zasobów”. Do tego potrzebny jest model biznesowy, który uzależni uzyskiwanie zysków w długim okresie od realizacji prośrodowiskowego i proklimatycznego programu rozwoju. Aby to osiągnąć, trzeba wyeliminować praktykę premiowania menedżerów i inwestorów za osiągnięcie „za wszelką cenę” krótkookresowych zysków. Konieczne jest natomiast przywrócenie filozofii biznesowej typowej dla przedsiębiorstw rodzinnych, zgodnie z którą sukces ma przynieść pomyślność osiągniętą przez wnuków i następnych potomków założycieli biznesu (Kassaei, 2020). Podobny pogląd w 2020 r. wyraziły inne osoby, które mogą pochwalić się sukcesem komercyjnym i jednocześnie wykazały zaangażowanie w realizację polityk publicznych. Anna Alex, założycielka start-upu Planetly, przyjęła założenie, że nie można skutecznie wspierać realizacji polityki klimatycznej, jeśli ograniczy się swoje działania tylko do angażowania w funkcjonowanie kolejnej organizacji pozarządowej (NGO). Rzeczywisty wpływ będzie można osiągnąć wtedy, gdy przedsiębiorca osobiście włączy się w transformację procesów gospodarczych. W epoce czwartej rewolucji przemysłowej podstawowe znaczenie ma przygotowanie i wdrożenie narzędzi ICT, które umożliwią rejestrowanie danych o faktycznej emisji GHG oraz skutkach wdrażania nowych,

proklimatycznych technologii produkcji, przewozu i innych procesów gospodarczych (Nohn, 2020). Christian Klein, CEO w SAP SE, największy producent usług ICT w Europie, uważa, że podmioty gospodarcze mogą zgłaszać propozycje rozwiązań (np. „wirtualna waluta CO₂”), których wdrożenie doprowadzi do upowszechnienia zachowań prowadzących do realizacji celów polityki klimatycznej. Ze strony inwestorów, menedżerów oraz audytorów zgłaszane jest poparcie dla takiego rozwiązania. Korzystając z „wirtualnej waluty CO₂” można przeprowadzić uzupełniającą analizę nowych projektów gospodarczych, której wyniki dadzą wymierną ocenę alternatywnych rozwiązań. Wówczas mogą być podejmowane radykalne decyzje inwestorskie, które uwzględniają realizację celów polityki klimatycznej (Afhüppe, Scheuer, 2020).

Biorąc pod uwagę różnorodność czynników, od których oddziaływania zależy sukces w realizacji polityk publicznych: środowiskowej i klimatycznej, można zaproponować następującą konwencję działań. Władze publiczne, korzystając z dorobku nauki, powinny formułować treść tych polityk. Jednak nie jest i nie powinno być ich zadaniem bezpośrednio włączanie się w realizację konkretnych zadań. Władze publiczne powinny być szczególnie powściągliwe we wprowadzaniu ograniczeń administracyjnych dla działalności przedsiębiorców oraz zachowania się konsumentów. Nie można dopuścić do sytuacji, w której organy unijne chciałyby sięgnąć do koncepcji, zastosowanej przez jakobinów pod koniec XVIII w., przewidującej kontrolę oraz dyscyplinowanie zachowania obywateli w sposób dyktatorski, dla osiągnięcia wytyczonych celów polityki publicznej (Ackermann, 2020). Jednocześnie nie można zbyt naiwnie założyć, że konsumenci świadomi aktualnych, a nawet przyszłych zagrożeń zdrowotnych (a także życiowych) spowodowanych przeciążeniem środowiska, zdecydują się w większości na zmianę swoich preferencji z myślą o sobie i przyszłych pokoleniach. Upowszechnienie postawy mitygacji będzie trudne do osiągnięcia, choć można liczyć na osiągnięcie efektów cząstkowych. Można natomiast wskazać, odwołując się do schematu przedstawionego na rysunku 7, że kluczową rolę odegra postawa prywatnych inwestorów, czyli przedsiębiorców.



Rys. 7. Trzy grupy czynników decydujących o skuteczności polityk publicznych: środowiskowej i klimatycznej

Źródło: opracowanie własne.

W epoce drugiej rewolucji przemysłowej Hugon Junkers (1859–1935) wprowadził innowacje (wynalazki), dzięki którym m.in. ludność w kolejnych dekadach uzyskała powszechny dostęp do systemów grzewczych z piecem gazowym i zwiększyła standard swojego życia. Osiągnięcia H. Junkersa były komercyjnie wymierne, a społecznie wielowymiarowe. Ich podstawą była kreatywność inżynierska, dzięki której wdrożono innowacje, a towarzyszyła jej zdolność do wdrażania nowych technologii oraz sprawność menedżerska⁵.

W epoce czwartej rewolucji niezbędni są założyciele start-upów oraz top-menedżerowie dużych koncernów, którzy:

- przygotowują nowe rozwiązania technologiczne,
- wprowadzą do produkcji i udostępnią konsumentom nowe produkty spełniające normy środowiskowe i klimatyczne,
- przygotowują i wdrożą nowe modele biznesowe, dzięki którym konsumenci będą mogli osiągnąć przeświadczenie, że mitygowanie potrzeb i zaspokajanie ich w nowatorski sposób jest „cool”, natomiast nie jest formą stosowania narzuconych administracyjnie norm zachowania.

W dyskusji o sposobie realizowania polityk publicznych: środowiskowej i klimatycznej można dostrzec, że w okresie pandemii COVID-19 główną uwagę przypisuje się funkcjonowaniu władz publicznych. Na forum europejskim, od maja 2020 r., coraz aktywniejsi są przedstawiciele zwolenników pogłębienia integracji między narodami. Prezentowany jest argument, że ruchy populistyczno-narodowe straciły poparcie społeczne, gdyż okazało się, że skuteczne przeciwdziałanie zagrożeniom wywołanym rozprzestrzenianiem się koronawirusa SARS-CoV-2 nie jest możliwe „w granicach państwa”. Procesy zachodzące w naturze zachodzą na skalę powszechną i wystarczającą kontrolę nad ich przebiegiem może uzyskać *homo sapiens* współdziałający w skali globalnej (Steingard, 2020). Pierwszym etapem takiego wspólnego działania jest rozwiązywanie istniejących problemów w skali kontynentu. Może to być szczególnie skuteczne w zakresie polityki środowiskowej, natomiast efekty polityki klimatycznej można osiągnąć lokalnie tylko w bardzo ograniczonej skali.

Argumentem przemawiającym za zaangażowaniem się społeczności europejskiej w realizację obu polityk publicznych mogą być przewidywane sukcesy komercyjne tych podmiotów, które podejmą ryzyko inwestorskie, przygotowują i wdrożą nowe technologie. Jak wskazuje historia rozwoju technologii OZE i jej upowszechniania, w niektórych krajach Europy już osiągnięto tak znaczne obniżenie kosztów wytwarzania energii elektrycznej, że jej produkcja staje się bardziej opłacana niż produkcja przy zastosowaniu tradycyjnych technologii, z bezemisyjną energetyką jądrową włącznie. Przykładem przeprowadzonej z sukcesem transformacji energetycznej może być duńskie przedsiębiorstwo Ørsted, które w 2008 r. wytwarzało 85% energii elektrycznej, spalając węgiel kamienny, a w 2019 r. osiągnęło 85% udział OZE, stając się najwięk-

⁵ Charakteryzując sylwetkę H. Junkersa, należy dodać, że wykazał się on bardzo odpowiedzialną postawą obywatelską. Po dojściu A. Hitlera do władzy w Niemczech odmówił współuczestniczenia w ruchu faszystowskim, co spowodowało, że odebrano mu zakłady produkcyjne i osadzono go w areszcie domowym, gdzie zmarł na depresję.

szym na świecie producentem energii elektrycznej wytwarzanej przez generatory wiatrowe zainstalowane na platformach morskich (Neubert, 2020). Jeśli władze publiczne na szczeblu UE oraz poszczególnych krajów członkowskich zdecydowałyby się zrealizować projekt wprowadzenia na powszechną skalę „wirtualnej waluty CO₂”, to prywatni przedsiębiorcy zostaliby skutecznie zmobilizowani do wdrażania innowacji, a w konsekwencji – do zbliżania się do celu zeroemisyjnej gospodarki europejskiej. Beneficjentami tych zmian byłiby konsumenci, co powinno zapewnić wsparcie społeczne politykom i urzędnikom opowiadającym się za realizacją omawianych polityk publicznych. Nie będzie to jednak proste, gdyż w okresie ponoszenia ciężarów i niedogodności wywołanych niezbędnymi wyrzeczeniami, może osłabić się społeczna zdolność do uczestniczenia w podróży, w trakcie której nie widać „ani już opuszczonego lądu, ani też lądu stanowiącego wytyczony cel”.

Bibliografia

- Ackermann, U. (2020, 13 lipca). Die Gesellschaft reibt sich auf in immer neuen Kollektiven. *Neue Zürcher Zeitung*.
- Afhüppe, S., Scheuer S. (2020, 21 stycznia). SAP will eine CO₂-Währung für die Wirtschaft entwickeln. *Handelsblatt*. www.handelsblatt.com
- Arbib, J., Seba, T. (2020). *Rethinking Humanity. Five Foundational Sector Disruptions, the Lifecycle of Civilization, and the Coming Age of Freedom*. RethinkX.
- Bauer, J. (2020, 6 czerwca). Wenn wir weiterexistieren wollen, müssen wir verzichten lernen. *Tagesspiegel*.
- Baumgartner, T. et al. (2020). *Reimagining industrial supply chains*. Washington: McKinsey.
- Bridis, H. et al. (2020). *Adapting to the next normal retail: The customer experience imperative*. McKinsey & Company.
- Centralny Port Komunikacyjny. (2020). *Strategiczne Studium Lokalizacyjne Inwestycji Centralnego Portu Komunikacyjnego*. Warszawa: Centralny Port Komunikacyjny.
- Consumano, M. A., Gawer, A., Yoffie, D. F. (2019). *Business of Platforms. strategy in the Age of Digital Competition, Innovation, and Power*. Nowy Jork: HapperCollinsPublishers.
- Earth Overshoot Day*. (2020). Pozyskano z: <https://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/>
- Energetyka24. (2020). *Ministerstwo Klimatu przygotowuje Polską Strategię Wodorową*. Pozyskano z: www.energetyka24.com
- European Commission. (2020). *A hydrogen strategy for climat-neutral Europe*. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM(2020) 301 final. Brussels: European Commission.
- Erling, J. (2019, 24 kwietnia). Der 996-Modus, der Millionen Arbeiter in Wut versetzt. *Die Welt*.
- Fajfer, K. (2020). *Przeciw lewicy ascetycznej*. Pozyskano z: <https://krytykapolityczna.pl/gospodarka/asceza-lewica-katastrofa-klimatyczna-fejfer/>

- Główny Urząd Statystyczny. (2020). *Sytuacja gospodarstw domowych w 2019 r. w świetle wyników badania budżetów gospodarstw domowych*. Pozyskano z: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/warunki-zycia/dochody-wydatki-i-warunki-zycia-ludnosci/sytuacja-gospodarstw-domowych-w-2019-r-w-swietle-badania-budzetow-gospodarstw-domowych,3,19.html>
- Gujer, E. (2020, 24 kwietnia). Corona wird zum Realitätstest für die Klimapolitik – wie wichtig ist den Menschen ihr Wohlstand? *Neue Zürcher Zeitung*.
- Hagedorn, G. et al. (2019). Concerns of young protesters are justified. *Science*, 364 (6436), doi: 10.1126/science.aax3807
- Hügli, T. (2020). *The Swiss are living at the expense of future generations*. Pozyskano z: www.axa.ch
- Kassaei, A. (2020, 19 kwietnia). Ich bin von Natur aus auf Koks. *Die Welt*.
- Krastev, I. (2020, 30 czerwca). Merkel will Europa zu ihrem politischen Erbe machen. *Tagesspiegel*.
- Läubli, M. (2020, 29 maja). Warum auf Autoritäten hören? Wir können unmöglich alles selber wissen. *Neue Zürcher Zeitung*.
- Meadows, D. H. et al. (1972). *The Limits to Growth*. Waszyngton: Potomac.
- Munich Re. (2019). <https://300gospodarka.pl/300klimat/7-bilionow-euro-tyle-europa-wyda-przez-30-lat-na-neutralnosc-klimatyczna>
- Narat, I. (2020, 4 sierpnia). Der grosse Stresstest ist bestanden: Das ETF-Kapital wird sich in drei Jahren verdoppeln. *Handelsblatt*. www.handelsblatt.com
- Neubert, M. (2020). *Ørsted's renewable-energy transformation*. McKinsey & Company.
- Nohn, C. (2020, 19 stycznia). Outfittery-Gründerin Anna Alex will mit neuem Start-up Planetly das CO₂-Problem bekämpfen. *Handelsblatt*. www.handelsblatt.com
- Pinker, S. (2020, 30 czerwca). Postfaktisches Zeitalter? Dieser Begriff ist selbst der grösste Schwindel. *Neue Zürcher Zeitung*.
- Preciado, P. B. (2018). *Letter from a trans man to the old sexual regime*. Pozyskano z: www.textezurkunst.de
- Sroczyński, G. (2020). *Bendyk: Zagraliśmy w polaryzację, żeby nie myśleć o bardziej strasznych rzeczach*. Pozyskano z: <https://next.gazeta.pl/next/7,151003,26121843,bendyk-zagralismy-w-polaryzacje-zeby-nie-myslec-o-bardziej.html>
- Stark, J. (2020, 25 czerwca). Europas Finanzhilfen haben jegliches Maß verloren. *Handelsblatt*. www.handelsblatt.com
- Steingard, G. (2020, 2 lipca). Warum die EU ihre Kritiker überleben wird. *Das Morning Briefing*.
- Suhr, F. (2020). *Immer weniger Jugendliche in Deutschland rauchen*. Statista. Pozyskano z: <https://de.statista.com/infografik/9584/immer-weniger-jugendliche-in-deutschland-rauchen/>
- Tavris, C., Aronson, E. (2008). *Błądzą wszyscy (ale nie ja)*. Sopot: Smak Słowa.
- Wackernagel, M. (2020). *What future do we want?* Pozyskano z: www.footprintnetwork.org
- Witsch, K. (2020, 11 lipca). Mehr Angebot als Nachfrage – die LNG-Blase droht zu platzen. *Handelsblatt*. www.handelsblatt.com

Streszczenie

Homo sapiens przez tysiące lat podejmował wysiłek, aby podporządkować sobie przyrodę. Celem było pomnażanie dóbr służących konsumpcji. Coraz bardziej agresywna eksploracja lądów i zbiorników wodnych wiązała się z postępującą degradacją środowiska naturalnego, w tym atmosfery. W różnych regionach świata dochodzi do katastrof powodujących śmierć ludzi i zwierząt oraz olbrzymie straty materialne. Ze strony elit społecznych przedstawiane są polityki publiczne: prośrodowiskowa i proklimatyczna. Pojawia się pytanie, dlaczego do tej pory większość społeczeństwa nie angażuje się w realizację tych polityk. W rozdziale przedstawione są propozycje działań, które mogą się przyczynić do pozyskania akceptacji dla polityki klimatycznej wśród coraz liczniejszych grup ludności całego globu.

Słowa kluczowe: gospodarka światowa, eksploatacja zasobów naturalnych, zmiany klimatyczne, polityka publiczna, świadomość człowieka.

HOW TO CHANGE THE STANCE OF *HOMO SAPIENS*?

SUMMARY

Over thousands of years *Homo sapiens* has been trying to take the control over the nature. The aim was to magnify the amount of consumptive goods. More and more aggressive land and sea exploration has caused progressive damage of the environment, including the atmosphere. Various regions in the world experience catastrophes and suffer numerous losses, involving the loss of human and animal lives. Consequently, society elites present ideas and politics supporting the environment and climate. However, a question arises why the majority of the society does not get involved in real implementation of these ideas. This chapter presents the proposals of the activities which might serve to get some broader acceptance of the climate policy among various groups of people all over the world.

Keywords: global economy, natural resources exploitation, climate changes, public policy, human consciousness.

JEL: Q54, Q56



Konrad Szpak

Mgr Konrad Szpak jest absolwentem stosunków międzynarodowych, nauczycielem akademickim (od 2011 r.), project managerem. Prezes Instytutu Polityk Publicznych. Przygotowuje pracę doktorską nt. transformacji energetycznej Polski w Kolegium Ekonomiczno-Społecznym Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie. Członek The International Association for Energy Economics, Climate-KIC Alumni Association oraz Polskiego Stowarzyszenia Badań Wspólnoty Europejskiej (PECSA).

Instytut Polityk Publicznych, Szkoła Główna Handlowa w Warszawie,
e-mail: konrad.szpak@ipp.expert

<https://orcid.org/0000-0001-6449-9347>

Polityka klimatyczna Unii Europejskiej w perspektywie 2050 roku

Wprowadzenie

Polityka klimatyczna Unii Europejskiej ulegała na przestrzeni lat licznym przekształceniom. Wywodzi się ona z polityki środowiskowej UE zapoczątkowanej w latach 70. XX w.¹. Wraz z Traktatem z Lizbony (2007) przeciwdziałanie zmianom klimatu jest szczegółowym celem polityki środowiskowej UE. W art. 191 Traktatu o funkcjonowaniu Unii Europejskiej zapisano, że „polityka Unii w dziedzinie środowiska przyczynia się do (...) promowania na płaszczyźnie międzynarodowej środków zmierzających do rozwiązywania regionalnych lub światowych problemów w dziedzinie środowiska, w szczególności zwalczania zmian klimatu”.

Przez wiele lat istotniejszym obszarem działań Unii Europejskiej niż klimat była energia. Pomijając powstanie Europejskiej Wspólnoty Węgla i Stali czy Euratomu, warto zwrócić uwagę na zaburzone poczucie bezpieczeństwa Wspólnoty związane z kryzysem naftowym w 1973 r. oraz potrzebę budowy i rozwoju rynku wewnętrznego, także w dziedzinie energii. W Traktacie z Lizbony zapisano, że „polityka Unii w dziedzinie energetyki ma na celu, w duchu solidarności między Państwami Członkowskimi:

- zapewnienie funkcjonowania rynku energii;
- zapewnienie bezpieczeństwa dostaw energii w Unii;
- wspieranie efektywności energetycznej i oszczędności energii, jak również rozwoju nowych i odnawialnych form energii;
- wspieranie wzajemnych połączeń między sieciami energii” (Traktat o funkcjonowaniu Unii Europejskiej, 2012, art. 194, ust. 1).

¹ W 1972 r. podczas posiedzenia Rady Europejskiej wskazano na potrzebę wypracowania wspólnotowej polityki środowiskowej. Jednocześnie w Jednolitym akcie europejskim z 1987 r. wprowadzono dział „środowisko”, które stało się na podstawie Traktatu z Maastricht oficjalną polityką UE w 1993 r. Z kolei Traktat z Amsterdamu z 1999 r. ustanowił obowiązek włączania ochrony środowiska w sektorowe strategie UE z myślą o promowaniu zrównoważonego rozwoju. Na podstawie: Laky, Z. (2019). *Polityka w dziedzinie środowiska: ogólne zasady i podstawowe ramy*. Pozyskano z: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/pl/sheet/71/polityka-w-dziedzinie-srodowiska-ogolne-zasady-i-podstawowe-ramy>

Jednocześnie szanowano prawa państw członkowskich do możliwości samodzielnego kształtowania własnego miks energetycznego². Również kryzysy gazowe, związane ze sporem pomiędzy Rosją a Ukrainą jako ważnym szlakiem importu surowców energetycznych, zwracały uwagę UE na konieczność zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego³. Było to szczególnie ważne po aneksji przez Rosję, w okresie luty–marzec 2014 r., Krymu należącego do Ukrainy. Odpowiedzią na działania Rosji miała być Unia Energetyczna zaproponowana pierwotnie przez premiera Polski Donalda Tuska w artykule „Zjednoczona Europa może położyć kres dławiącemu uściskowi energetycznemu Rosji”, opublikowanym w „Financial Times” 21 kwietnia 2014 r. Zgodnie z propozycją Unia Energetyczna miała opierać się na trzech obszarach:

- mechanizmie wspólnych negocjacji umów energetycznych z Rosją⁴;
- mechanizmach gwarantujących solidarność między państwami w przypadku odcięcia dostaw energii⁵;
- wspieraniu przez UE budowy odpowiedniej infrastruktury energetycznej⁶.

Z kolei już 28 maja 2014 r. Komisja wydała komunikat do Parlamentu Europejskiego i Rady Europejskiej *Strategia bezpieczeństwa energetycznego*, w którym stwierdzono, że „bezpieczeństwo energetyczne Unii jest nieodłączną częścią ram klimatyczno-ener-

² W art. 194, ust. 2 Traktatu o funkcjonowaniu Unii Europejskiej zapisano prawa państwa członkowskiego do określania warunków wykorzystania jego zasobów energetycznych, wyboru między różnymi źródłami energii i ogólnej struktury jego zaopatrzenia w energię. Było to zresztą zgodne zapisami Jednolitego aktu europejskiego i załącznikami do niego. W ramach *Declaration on Article 130r of the EEC Treaty*, zapisano, że: „The Conference confirms that the Community’s activities in the sphere of the environment may not interfere with national policies regarding the exploitation of energy resources” (par. 1, ust. 3).

³ Gaz ziemny w Unii Europejskiej w większości pochodzi z importu – 77,9% w 2018 r., z czego w istotnej części z kierunku wschodniego (20,5% z Rosji, 16,3% z Ukrainy, 10,3% z Białorusi, przy czym gaz pochodzący z Ukrainy i Białorusi również częściowo jest surowcem rosyjskim). Opracowano na podstawie *Natural gas supply statistics*. (2019). Pozyskano z: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/pdfscache/10590.pdf>

⁴ „First, Europe should develop a mechanism for jointly negotiating energy contracts with Russia. It would be created in stages. Initially, bilateral agreements would be stripped of any secret and market-distorting clauses; then, a template contract would be created for all new gas contracts; finally, the European Commission would be required to take a role in all new negotiations”. Tusk, D. (2014). *A united Europe can end Russia’s energy stranglehold*. Pozyskano z: <https://www.ft.com/content/91508464-c661-11e3-ba0e-00144feabdc0>

⁵ „Second, mechanisms guaranteeing solidarity among member states should be strengthened in case energy supplies are again cut off, as they were in the cold winter of 2009 when Russia’s previous dispute with Ukraine stopped gas flowing to a number of EU nations. Europe must be safe in the knowledge that its gas supply is assured, its storage facilities are sufficient and its gas networks are uninterrupted”. Ibidem.

⁶ „Third, the EU should support the building of adequate energy infrastructure. Today, at least 10 EU member states depend on a single supplier – Gazprom – for more than half of their consumption. Some are wholly dependent on Russia’s state-controlled gas giant. In countries where the security of supply is weakest, storage capacity and gas links should be built with the help of the EU. Such projects should enjoy the highest permitted level of co-financing from Brussels – 75 per cent”. Ibidem.

getycznych na rok 2030 (...). Przejście na konkurencyjną gospodarkę niskoemisyjną pozwoli na zmniejszenie zużycia importowanych paliw kopalnych przez ograniczenie zapotrzebowania na energię i wykorzystanie odnawialnych i innych rodzimych źródeł energii” (Komisja Europejska, 2014a). Można zatem powiedzieć, że pozbawiona istotnych, własnych zasobów surowców energetycznych Unia Europejska widziała w rozwijaniu produkcji energii ze źródeł odnawialnych nie tylko możliwość osiągnięcia celów klimatycznych, lecz także zwiększanie bezpieczeństwa energetycznego. Jednak z upływem czasu pojawiły się ważniejsze problemy związane ze zmianami klimatu i kwestie dotyczące energii stały się drugoplanowe. Przykładem takich zmian była ewolucja projektu Unii Energetycznej. Już w czerwcu 2014 r. Rada Europejska postanowiła w jej ramach wyróżnić trzy główne cele, z których jeden odnosił się do zwiększenia produkcji energii z odnawialnych źródeł energii (OZE), aby przeciwdziałać zmianom klimatu⁷. Przewodniczący Komisji Jean-Claude Juncker w swojej mowie inauguracyjnej w Parlamencie Europejskim 15 lipca 2014 r. zaproponował uzupełnienie Unii Energetycznej o kwestie OZE, efektywności energetycznej oraz rozwój rynku wewnętrznego (Vandendriessche, 2017). Bardziej znaczące zmiany wprowadzono w 2015 r. w ramach *Strategii ramowej na rzecz stabilnej unii energetycznej opartej na przyszłościowej polityce w dziedzinie klimatu* (Komisja Europejska, 2015b). Zgodnie z nią jednym z pięciu obszarów Unii Energetycznej ma być dekarbonizacja gospodarki. Było to bardzo istotne przekształcenie pierwotnego pomysłu i dopasowanie go do polityki klimatycznej UE.

Wzrost ważności zmian klimatycznych jest szczególnie widoczny w zmianach ram prawnych polityki energetyczno-klimatycznej UE. Obecnie najważniejszą strategią polityki klimatycznej UE jest Europejski Zielony Ład (ang. *European Green Deal*), który zaproponowano w komunikacie Komisji Europejskiej z 11 grudnia 2019 r. Ma to być nowa całościowa strategia gospodarcza UE, której głównym celem jest osiągnięcie przez nią do 2050 r. neutralności klimatycznej.

W tym komunikacie słusznie zauważono, że państwa członkowskie UE „wyróżnia na arenie międzynarodowej wysoka jakość i standard życia będący efektem osiągniętego wysokiego poziomu rozwoju gospodarczego i rozbudowanych systemów społecznych. Jednak na przełomie XX i XXI w. stało się jasne, że utrzymanie tych wysokich standardów w obliczu dokonujących się zasadniczych zmian zarówno zewnętrznych, jak i wewnętrznych uwarunkowań wymaga istotnej reorientacji dotychczasowej polityki rozwoju (...)” (Sulmicka, 2011, s. 169). Dlatego właśnie na przestrzeni minionych lat opracowywano kolejne dokumenty strategiczne, które proponowały działania będące odpowiedzią na najważniejsze wyzwania rozwojowe UE. Wśród nich warto wyróżnić m.in. Agendę Lizbońską (2000 r.), Europę 2020 (2010 r.), Horyzont 2020

⁷ „(...) We want to build an Energy Union aiming at affordable, secure and sustainable energy. Energy efficiency is essential, since the cheapest and cleanest energy is that which is not consumed. In light of this challenge, our energy and climate policies for the upcoming five years must focus on: (...) green energy: by continuing to lead the fight against global warming ahead of the United Nations COP 2015 meeting in Paris and beyond, including by setting ambitious 2030 targets that are fully in line with the agreed EU objective for 2050”. Rada Europejska. (2014a). *Konkluzje Rady Europejskiej z 26–27 czerwca 2014 r.* Bruksela: Rada Europejska.

(2013 r.), czy Plan Junckera (2014 r.). Na globalne wyzwania klimatyczne odpowiedzią ma być Europejski Zielony Ład (EZŁ).

1. Ramy prawne polityki klimatycznej Unii Europejskiej

Jednym z kamieni milowych rozwoju polityki klimatycznej Unii Europejskiej było przyjęcie w 2007 r. przez Radę Europejską tzw. pakietu energetyczno-klimatycznego 3 × 20. Odnosił się on do trzech głównych celów:

1. zmniejszenia o 20% emisji gazów cieplarnianych (rok bazowy: 1990),
2. zwiększenia do 20% udziału energii ze źródeł odnawialnych w całkowitym zużyciu energii w UE,
3. zwiększenia o 20% efektywności energetycznej (Rada Europejska, 2007).

Przyjęte finalnie w 2009 r. przepisy wyznaczają nadal wiążące dla państw członkowskich zobowiązania w obszarze energii i klimatu, ale polityka UE ulegała kolejnym zmianom. Powołano unijny system handlu uprawnieniami do emisji (EU ETS)⁸, a także podjęto próby wypracowania kolejnych, bardziej ambitnych celów energetycznych i klimatycznych.

Ramy polityki klimatyczno-energetycznej UE w perspektywie 2030 r. zostały zaproponowane przez Komisję Europejską 22 stycznia 2014 r. (Komisja Europejska, 2014b) i przyjęte podczas posiedzenia Rady Europejskiej 23–24 października 2014 r. (Rada Europejska, 2014b). Zaproponowane nowe cele dotyczyły:

1. zmniejszenia o 40% emisji gazów cieplarnianych (rok bazowy: 1990),
2. zwiększenia do 27% udziału energii z OZE w całkowitym zużyciu energii w UE,
3. zwiększenia o 27% efektywności energetycznej,
4. zakończenia tworzenia wewnętrznego rynku energii.

Zapisy te zostały zaktualizowane w 2018 r. Zwiększono cele dotyczące OZE (z 27 do 32%) oraz efektywności energetycznej (z 27 do 32,5%) (Komisja Europejska, 2019b). Chociaż plany były bardzo ambitne, a ich realizację w przyjętych perspektywach czasowych nie postrzegano powszechnie jako bezproblemową, to zaproponowano kolejne zmiany i dalsze zaostrzenie polityki klimatyczno-energetycznej.

Obecnie najważniejszą inicjatywą UE w zakresie polityki klimatycznej jest EZŁ. Jego celem jest „przekształcenie UE w sprawiedliwe i prosperujące społeczeństwo żyjące w nowoczesnej, zasobooszczędnej i konkurencyjnej gospodarce, która w 2050 r. osiągnie zerowy poziom emisji gazów cieplarnianych netto i w ramach której wzrost gospodarczy będzie oddzielony od wykorzystania zasobów naturalnych” (Komisja Europejska, 2019a). Wizja neutralności klimatycznej została przedstawiona przez Komisję Europejską już w listopadzie 2018 r. w dokumencie *Czysta planeta dla wszystkich*. Przedstawiono w nim cel „osiągnięcia zerowej emisji gazów cieplarnianych netto do 2050 roku dzięki sprawiedliwej społecznie i racjonalnej kosztowo transformacji” (Komisja Europejska, 2018). Neutralność klimatyczną poparł także Parlament Europejski

⁸ Zob. więcej: *EU ETS Handbook*. (2015). Pozyskano z: https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/ets_handbook_en.pdf oraz *EU ETS Factsheet*. (2016). Pozyskano z https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/factsheet_ets_en.pdf

w rezolucjach: w sprawie zmiany klimatu (Parlament Europejski, 2019a) z 14 marca 2019 r. oraz Europejskiego Zielonego Ładu (Parlament Europejski, 2019b) z 15 stycznia 2020 r. Osiągnięcie neutralności klimatycznej w perspektywie 2050 r. aprobować również Rada Europejska w grudniu 2019 r., choć przy ambiwalentnej postawie Polski⁹.

Europejski Zielony Ład jest strategią obejmującą wiele obszarów polityk UE. Odnosi się on do energetyki, ale także do przemysłu, budownictwa, transportu, różnorodności biologicznej, rolnictwa oraz eliminowania zanieczyszczeń powietrza, wody i gleby. Można zatem uznać EZŁ za całościowe spojrzenie na przyszłość, ale jednocześnie trudno uznać go za kompleksową strategię. Jest to raczej wizja gospodarki unijnej w 2050 r. wraz ze szczytkowymi planami działań. Zaproponowany dotychczas plan działań jest bowiem jedynie hasłowy i obejmuje jedynie trzy strony (Komisja Europejska, 2019a). Trzeba jednak zaznaczyć, że trwają intensywne prace legislacyjne z nim związane.

14 stycznia 2020 r. przedstawiono plan inwestycyjny na rzecz Europejskiego Zielonego Ładu i mechanizmu sprawiedliwej transformacji¹⁰, a 4 marca projekt unijnego prawa o klimacie (ang. *European Climate Law*). Jego celem będzie „uzupełnienie istniejących ram politycznych poprzez wyznaczenie długoterminowego kierunku działań oraz zapisanie w prawie UE celu polegającego na osiągnięciu neutralności klimatycznej do 2050 r., intensyfikację działań adaptacyjnych, ustanowienie procesu (...) przeglądu trajektorii w perspektywie do 2050 r. oraz ustanowienie regularnej oceny i procesu stosowanego w razie niewystarczających postępów bądź wystąpienia niespójności” (Parlament Europejski, Rada, 2020). Kolejnymi inicjatywami ustawodawczymi w zakresie EZŁ było przyjęcie 10 marca 2020 r. ogólnej europejskiej strategii przemysłowej (ang. *European Industrial Strategy*) (European Commission, 2020) oraz wniosku z 11 marca 2020 r. dotyczącego planu działania gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ), koncentrującego się na zrównoważonym wykorzystaniu zasobów (*Circular Economy Action Plan*)¹¹.

Jednocześnie Komisja Europejska planuje dalsze prace legislacyjne: 20 maja 2020 r. zaprezentowała strategię „od pola do stołu” (*Farm to fork strategy*) (Komisja Europejska, 2020) w zakresie tworzenia bardziej zrównoważonych systemów żywnościowych oraz strategię na rzecz bioróżnorodności 2030 w celu ochrony wrażliwych zasobów naturalnych na naszej planecie (*EU Biodiversity Strategy for 2030*).

EZŁ zakłada wprowadzenie nowych środków realizacji polityki klimatycznej. Wśród nich znajdują się m.in.:

- objęcie systemem EU ETS nowych sektorów, w tym gospodarki morskiej oraz aktualizacja dotychczasowych celów redukcyjnych;

⁹ Zgodnie z konkluzjami Rady „the European Council endorses the objective of achieving a climate-neutral EU by 2050, in line with the objectives of the Paris Agreement. One Member State, at this stage, cannot commit to implement this objective as far as it is concerned, and the European Council will come back to this in June 2020”. Rada Europejska. (2019). *Konkluzje Rady Europejskiej z 12 grudnia 2019 r.* Bruksela: Rada Europejska. Wyróżnienia dodane.

¹⁰ Zob. więcej: *Financing the green transition: The European Green Deal Investment Plan and Just Transition Mechanism*. (2020). Pozyskano z: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_17

¹¹ Zob. więcej: *Circular Economy Action Plan. For a cleaner and more competitive Europe*. (2020). Pozyskano z: https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new_circular_economy_action_plan.pdf

- dalsze opodatkowanie energii;
- likwidacja zwolnień podatkowych w zakresie paliwa lotniczego i żeglugowego;
- wprowadzenie mechanizmów dostosowywania cen towarów na granicach z uwzględnieniem emisji CO₂, aby zmniejszyć ryzyko ucieczki emisji;
- pobudzanie inwestycji publicznych i prywatnych;
- kształtowanie polityk (wytycznych) wobec inwestorów, ubezpieczycieli, przedsiębiorstw, samorządów i obywateli;
- wprowadzenie tzw. prawa do naprawy;
- nowe, ostrzejsze normy emisji CO₂ dla pojazdów drogowych;
- transfer środków w ramach wspólnej polityki rolnej na cele klimatyczne (40%);
- zalesianie i ponowne zalesianie terenów;
- zwiększenie celu klimatycznego Europejskiego Banku Inwestycyjnego z 25 do 50%.

2. Narzędzia polityki klimatycznej Unii Europejskiej

Unijny system handlu uprawnieniami do emisji (ang. *EU Emissions Trading System*, dalej: EU ETS)¹² jest najważniejszym narzędziem polityki klimatycznej Unii Europejskiej. Komisja Europejska przedstawia go jako „kluczowy element polityki UE na rzecz walki ze zmianą klimatu oraz jej podstawowe narzędzie służące do zmniejszania emisji gazów cieplarnianych w sposób opłacalny” (Komisja Europejska, 2020). EU ETS obejmuje łącznie 31 państw: 27 państw członkowskich UE oraz Zjednoczone Królestwo¹³, Islandię, Liechtenstein i Norwegię, a zatem cały Europejski Obszar Gospodarczy. W jego ramach analizowane są emisje GHG ponad 11 tys. największych instalacji, tj. elektrowni, elektrociepłowni, hut żelaza, szkła, aluminium, rafinerii, cementowni oraz innych dużych zakładów przemysłowych. Reżim systemu odnosi się częściowo także do linii lotniczych. Szacuje się, że EU ETS obejmuje ok. 45% emisji GHG w UE. System obejmuje nie tylko emisji dwutlenku węgla (CO₂), lecz także wszystkie najważniejsze gazy cieplarniane¹⁴. Został on uruchomiony w 2005 r., kiedy przyjęto krajowe plany

¹² Czasem jest on nazywany europejskim systemem handlu uprawnieniami do emisji, ale ponieważ odnosi się głównie do Unii Europejskiej (a nie całej Europy), to autor używa określenia *unijny*, co jest zresztą zgodne z oficjalnym tłumaczeniem na stronach Komisji: https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_pl

¹³ Zjednoczone Królestwo od 1 stycznia 2020 r. nie jest już członkiem Unii Europejskiej, ale do 31 grudnia 2020 r. pozostaje uczestnikiem EU ETS. *Guidance. Meeting climate change requirements from 1 January 2021.* (2020). Pozyskano z: <https://www.gov.uk/government/publications/meeting-climate-change-requirements-if-theres-no-brexite-deal/meeting-climate-change-requirements-if-theres-no-brexite-deal>

¹⁴ System uwzględni m.in.: CO₂ – dwutlenek węgla (ang. *carbon dioxide*), N₂O – podtlenek azotu (ang. *nitrous oxide*), CH₄ – metan (ang. *methane*), HFC – hydrofluorowęglowodory (ang. *hydrofluorocarbons*), PFC – perfluorowęglowodory (ang. *perfluorocarbons*), SF₆ – heksafluorek siarki (ang. *sulphur hexafluoride*), NF₃ – trifluorek azotu (ang. *nitrogen trifluoride*). Ponieważ jednak trudno sprawnie analizować emisję różnych gazów cieplarnianych, stosuje się przeliczniki ich szkodliwości – niektóre gazy cieplarniane są bowiem bardziej szkodliwe dla atmosfery od innych, niektóre utrzymują się w niej krócej od innych, inne z kolei są emitowane od dłuższego czasu itd., co wymaga przyjęcia odpowiednich przeliczników.

rozdziału uprawnień do emisji. Państwa członkowskie były zobligowane do przyjęcia odpowiednich planów do 31 marca 2004 r. lub 1 maja 2004 r. w przypadku 10 nowych państw członkowskich. EU ETS. Jest to zatem bardzo ważny instrument unijnej polityki klimatycznej uruchomiony w celu zmniejszania emisji GHG w Unii Europejskiej.

EU ETS jest systemem pułapów i handlu (ang. *cap and trade*) (Komisja Europejska, 2015a), to znaczy, że ustalany jest limit łącznych emisji (niektórych) gazów cieplarnianych emitowanych przez instalacje objęte systemem. Z upływem czasu limit ten jest następnie obniżany, aby łączne emisje w systemie uległy obniżeniu z każdym kolejnym rokiem. W ramach wyznaczonego pułapu przedsiębiorstwa otrzymują lub kupują uprawnienia do emisji, którymi mogą handlować. System jest obowiązkowy: każdy podmiot musi umorzyć liczbę przydziałów wystarczającą na pokrycie jego emisji lub zapłacić określonej wysokości kary. W sytuacji gdy przedsiębiorstwo zmniejsza emisję, może zatrzymać nadmiar uprawnień w celu pokrycia swoich potrzeb w przyszłości lub też sprzedać je innemu podmiotowi, któremu tych uprawnień zabrakło (zasady wymuszają zatem handel uprawnieniami do emisji). System ulegał licznym zmianom i przekształceniom. Od momentu wprowadzenia można wyróżnić cztery etapy jego reformowania.

EU ETS został uruchomiony w 2005 r., w momencie rozpoczęcia jego pierwszej fazy trwającej w latach 2005–2007. Był to etap pilotażowy, którego celem było wprowadzenie infrastruktury do monitorowania, kontroli i sprawozdawczości w zakresie emisji wytwarzanych przez przedsiębiorstwa objęte systemem, a także ceny za emisję dwutlenku węgla¹⁵ oraz doprowadzenie do swobodnego handlu uprawnieniami do emisji w UE. Początkowo emisje w ramach EU ETS odnosiły się przede wszystkim do największych producentów energii oraz energochłonnych branż przemysłu. Uprawnienia do emisji zostały przyznane przedsiębiorstwom bezpłatnie, ale wprowadzono jednocześnie kary za nieprzestrzeganie przepisów na poziomie 40 EUR/Mg wyemitowanego CO₂. Istotne jest, że system był dopiero tworzony i nie było wiarygodnych danych dotyczących emisji, a państwa członkowskie przygotowały raczej szacowane krajowe plany rozdziału uprawnień do emisji. Efektem było przyjęcie pułapów dla pierwszego etapu na podstawie szacunkowych danych, których nie można było uznać za w pełni wiarygodne. Skutkiem odwoływania się do tych danych było podjęcie decyzji, w której uwzględniono sumę wydanych uprawnień przekraczającą rzeczywistą ilość emisji. Pojawienie się nadwyżki podaży nad popytem uprawnień doprowadziło do spadku cen uprawnień do poziomu 0 EUR/Mg (co wynikało z zależności: istotna nadwyżka, brak handlu, brak zapotrzebowania, cena równa 0, darmowe uprawnienia). Zdecydowano się zatem na zmiany funkcjonowania systemu, a uprawnienia z pierwszej fazy nie mogły być wykorzystane w kolejnym etapie.

Zostały one opracowane zgodnie z międzynarodowymi uzgodnieniami, przyjętymi w ramach *Fourth Assessment Report: Climate Change 2007* przez Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC – The Intergovernmental Panel on Climate Change; jest to utworzone w 1988 r. ciało doradcze ONZ, którego zadaniem jest dostarczanie wiedzy w obszarze zmiany klimatu).

¹⁵ W etapie pilotażowym emisje odnosiły się jedynie do dwutlenku węgla, nie do innych gazów cieplarnianych.

W ramach kolejnej fazy funkcjonowania EU ETS (lata 2008–2012) zdecydowano się na zmniejszenie pułapu uprawnień do emisji o ok. 6,5% w porównaniu do 2005 r. Dodatkowo do systemu przystąpiły nowe państwa – Islandia, Liechtenstein i Norwegia. Systemem objęto także nowe gazy cieplarniane (podtlenek azotu, który jest związany m.in. z produkcją kwasu azotowego oraz emisją spalin z silników w samochodach osobowych i ciężarowych). Kolejną zmianą było obniżenie puli bezpłatnych uprawnień ze 100 do 90%. Za przeprowadzanie aukcji odpowiedzialne były poszczególne państwa członkowskie, a kary za nieprzestrzeganie przepisów zostały zwiększone do 100 EUR/Mg wyemitowanego CO₂. Jednocześnie zdecydowano się na zastąpienie krajowych rejestrów jednym unijnym rejestrem oraz utworzenie dziennika transakcji UE. Zakres EU ETS podlegał także rozwojowi. Systemem objęto 1 stycznia 2012 r. w ograniczonym zakresie (jedynie loty wewnątrz UE) sektor lotnictwa. Dodatkowo rozwijano system monitoringu i sprawozdawczości. Zweryfikowano poziomy rocznych emisji z pierwszej fazy, zredukowano pułap uprawnień do emisji na podstawie rzeczywistych, a nie tylko szacunkowych danych. Trzeba jednak zwrócić uwagę, że w 2008 r. nastąpił globalny kryzys gospodarczy, który swoim zasięgiem objął także UE. Doprowadziło to do redukcji emisji gazów cieplarnianych i wystąpienia kolejny raz nadwyżki uprawnień. W konsekwencji ceny uprawnień nadal były niewielkie, a system zachęt do obniżki emisji nieistotny.

Unijny system handlu uprawnieniami do emisji był rozwijany w ramach trzeciego etapu (od 2013 r.), który trwa do dziś. Zmiany, w porównaniu do poprzednich faz, dotyczyły m.in. wprowadzenia jednolitego limitu emisji dla całej UE, zamiast systemu limitów krajowych. Co ważne, zdecydowano się na przyjęcie nowej metody przydzielania uprawnień do emisji. Bezpłatny przydział zastąpiono sprzedażą na aukcji, ale nadal istniała pula bezpłatnych uprawnień, które przekazywano podmiotom w ramach zharmonizowanych zasad ich przydzielania. Inne zmiany odnosiły się do objęcia systemem nowych sektorów oraz nowych rodzajów gazów cieplarnianych. Zdecydowano się także na wydzielenie 300 mln uprawnień do rezerwy dla nowych instalacji, w celu finansowania innowacyjnych technologii w obszarze OZE i technologii wychwytywania i składowania CO₂¹⁶.

W 2018 r. podjęto decyzję w sprawie kolejnej fazy EU ETS na lata 2021–2030. Ma nastąpić kolejne zwiększenie tempa redukcji puli uprawnień, o 2,2% rocznie od 2021 r. (obecnie jest to 1,74%), co będzie stanowić istotne zaostrzenie systemu. Wzmocniona ma zostać także rezerwa stabilności rynkowej¹⁷. W okresie 2019–2023 liczba uprawnień przeniesionych do rezerwy ma zostać podwojona i będzie to około jedna czwarta uprawnień znajdujących się w obiegu. Jednocześnie od 2023 r. liczba uprawnień w rezerwie będzie ograniczona do wolumenu z poprzedniego roku, a uprawnienia powyżej tej wartości zostaną anulowane. Z kolei zasady ustalania przydziału bezpłatnych

¹⁶ Nastąpiło to za pośrednictwem programu NER 300. Zob. więcej: *NER 300 programme*. (2020). Pozyskano z: https://ec.europa.eu/clima/policies/innovation-fund/ner300_en

¹⁷ Jest to mechanizm ustanowiony w 2015 r. w celu zredukowania nadwyżek uprawnień do emisji na rynku emisji oraz zmniejszenia podatności systemu na wstrząsy.

uprawnień mają wzmacniać postęp technologiczny i mają być związane z mechanizmami finansowania niskoemisyjnych technologii.

Dodatkowo aktualizacji mają zostać poddane „52 wskaźniki odniesienia (ang. *benchmarks*) stosowane do mierzenia poziomu emisji, tak aby uwzględnić postęp technologiczny” (Czaplicki, 2017, s. 9). Zmiany odnoszą się także do wprowadzenia dwóch nowych mechanizmów wsparcia niskoemisyjnych inwestycji:

- Funduszu Innowacyjnego – ma wspierać demonstracje innowacyjnych technologii;
- Funduszu Modernizacyjnego – ma wspierać modernizację energetyki.

Prowadzono także prace nad zmianą przepisów w zakresie tworzenia oraz wspierania nowych jednostek wytwórczych i ciepłych, wprowadzając limit 550 kg CO₂/MWh w ramach tzw. pakietu zimowego¹⁸. Spowodowałyby to brak możliwości pozyskiwania środków z UE na jakiegokolwiek inwestycje węglowe, w tym także na wspieranie jednostek wytwórczych bazujących na węglu poprzez rynek mocy w Polsce.

W ramach czwartego etapu ma nastąpić istotne zaostrzenie zasad funkcjonowania EU ETS, co będzie mieć duże konsekwencje dla niektórych państw członkowskich.

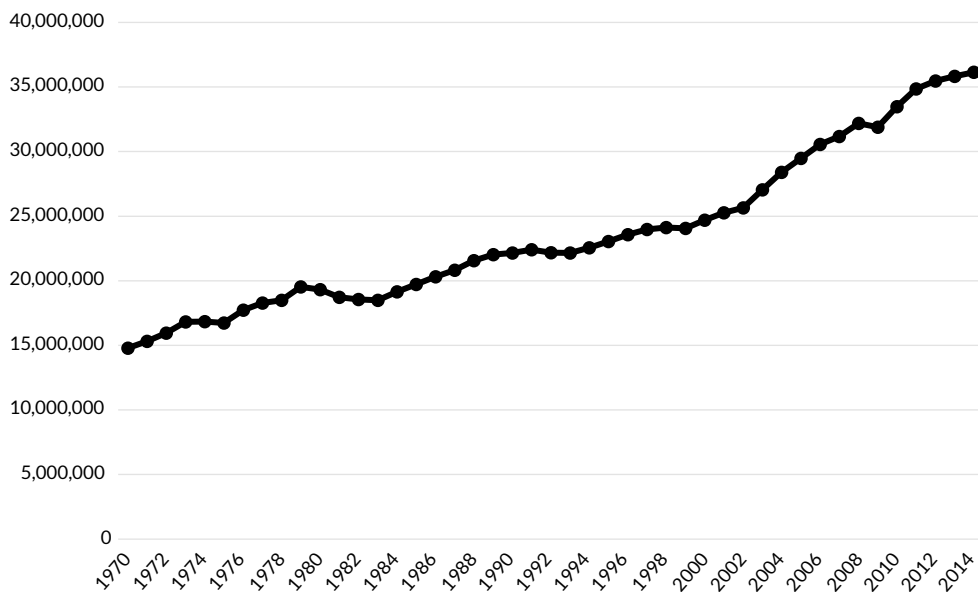
Polityka klimatyczna Unii Europejskiej wykorzystuje zróżnicowane narzędzia, które wspierają jej cele. Obok EU ETS są to także fundusze modernizacyjne, dokumenty planistyczne i zarządcze, takie jak krajowe plany w zakresie energii i klimatu, a także normy związane ze stosowaniem określonych technologii. Jak zauważono jednak w samym Europejskim Zielonym Ładzie, dotychczasowe instrumenty polityki klimatycznej nie pozwolą na osiągnięcie zakładanych celów. Strategia odnosi się zatem do wprowadzenia nowych, szerszych instrumentów i narzędzi polityki klimatycznej UE. Komisja Europejska proponuje jednocześnie, aby 25% środków w ramach wszystkich unijnych programów było przeznaczane na przeciwdziałanie zmianom klimatu. Szacuje się, że osiągnięcie zakładanych celów tylko w perspektywie 2030 r. będzie kosztować dodatkowo 260 mld EUR rocznie (Komisja Europejska, 2019a).

Zapisy EGD, choć są obecnie ogólne, będą prawdopodobnie prowadzić do istotnego przeprojektowania całego systemu społeczno-gospodarczego w państwach członkowskich. Zaostrzona polityka klimatyczna Unii Europejskiej będzie mogła w jeszcze większym stopniu odnosić się do kształtowania cen usług i towarów, w tym importowanych, oraz do kształtowania polityk podmiotów prywatnych, takich jak instytucje finansowe, banki czy ubezpieczyciele. Zmiany mogą doprowadzić nie tylko do promowania określonych technologii, lecz także do określonych zakazów i sankcji, np. związanych z ubezpieczaniem inwestycji infrastrukturalnych opartych na tradycyjnych nośnikach energii czy zakupem wybranych technologii w dziedzinie transportu. Docelowo wszystkie produkty mają zostać objęte projektowaniem pod kątem GOZ, a odpowiedzialność producentów ma zostać zwiększona. W związku z istotnym zaostrzeniem polityki klimatycznej Unii Europejskiej warto postawić pytanie o możliwości jej realizacji przez poszczególne państwa członkowskie oraz jej związek z globalną polityką klimatyczną.

¹⁸ Zob. więcej: Sawicki, B. (2018). *Polska przyszłość. Pakiet zimowy. Kilka ważnych pytań o zmiany w polskiej energetyce*. Pozyskano z: <http://jagiellonski.pl/files/other/1536001440.pdf>

3. Wybrane uwarunkowania polityki klimatycznej Unii Europejskiej

Dotychczasowa globalna polityka klimatyczna jest nieskuteczna, ponieważ ogólny poziom emisji nadal rośnie (Rys. 1).

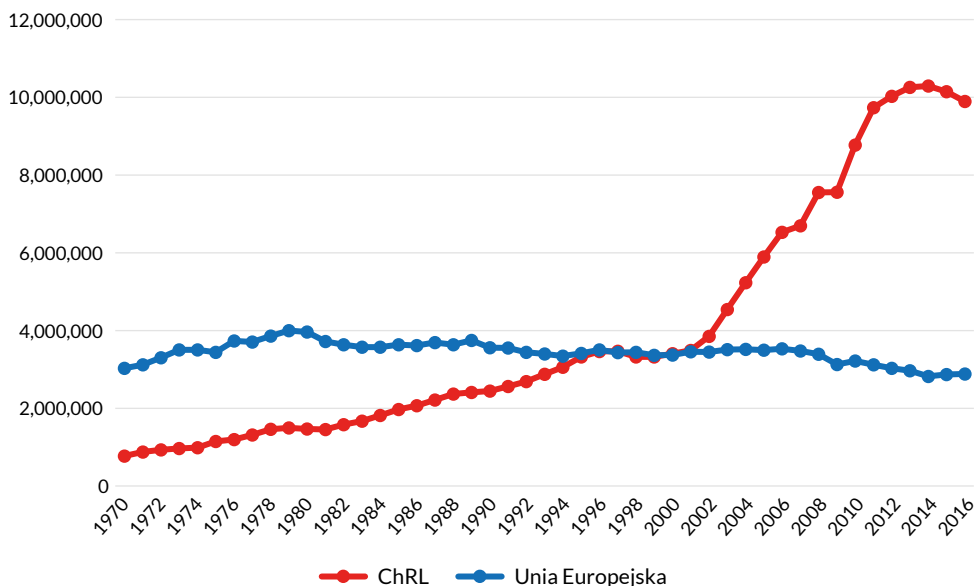


Rys. 1. Światowe emisje dwutlenku węgla w latach 1960–2014 (kt)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Banku Światowego.

W 1997 r. w ramach tzw. Protokołu z Kioto przyjęto paupary redukcji emisji dla 37 najbardziej uprzemysłowionych państw. Komisja Europejska przyjęła w 2000 r. Zieloną Księgą w zakresie emisji (*Green Paper on greenhouse gas emissions trading within the European Union*), a w 2003 r. Dyrektywę ws. systemu (*Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC*). Mimo iż EU ETS jest przedstawiany jako skuteczne narzędzie polityki klimatycznej UE (ponieważ emisje ulegają obniżeniu), to jednak jego funkcjonowanie nie jest pozbawione kontrowersji.

Jednym z argumentów przeciwko dalszemu zaostrzeniu polityki klimatycznej UE jest fakt, że poziom unijnych emisji jest stabilny, z tendencją malejącą. Pomimo tych wysiłków w UE globalny poziom emisji nadal się zwiększa. Jest to spowodowane rosnącymi emisjami w państwach rozwijających się, w tym przede wszystkim Chinach (Rys. 2).



Rys. 2. Emisje dwutlenku węgla w UE i ChRL w latach 1970–2016 (kt)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Banku Światowego.

UE, mająca obecnie niespełna 10% udziału w globalnym poziomie emisji, nie jest w stanie istotnie wpływać na jego światowy wolumen. Nasuwa się w związku z tym uzasadnione pytanie o celowość dalszych restrykcji, gdyż pomimo wprowadzania kosztownych inwestycji w ramach UE nadal rosną emisje na świecie.

Można zatem stwierdzić, że ważnym elementem polityki UE jest także tzw. *climate leadership*, czyli chęć przewodzenia światowym wysiłkom na rzecz ograniczenia emisji gazów cieplarnianych. Jest to widoczne m.in. w próbach przedstawiania EU ETS jako „pierwszego i dotychczas największego na świecie rynku uprawnień do emisji dwutlenku węgla” (Komisja Europejska, 2020), co nie do końca jest prawdą. Pierwszy system został zaprojektowany w Stanach Zjednoczonych, które jednak nie ratyfikowały Protokołu z Kioto i prowadziły ograniczone wysiłki w celu redukcji emisji gazów cieplarnianych. W 2003 r. uruchomiono jednak już Chicago Climate Exchange – pierwszą giełdę handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych. Obecnie największym systemem handlu uprawnieniami do emisji jest jego chiński odpowiednik uruchomiony w 2017 r., którym objęto ponad 3,5 GT emisji CO₂¹⁹. Dla porównania wolumen EU ETS jest ponad dwukrotnie mniejszy (1,7 GT w ekwiwalencie CO₂) (European Environment Agency, 2020). Wydaje się zatem, że klimatyczne przywództwo Unii Europejskiej na świecie nie jest uznawane, a państwa takie jak Chiny podejmują

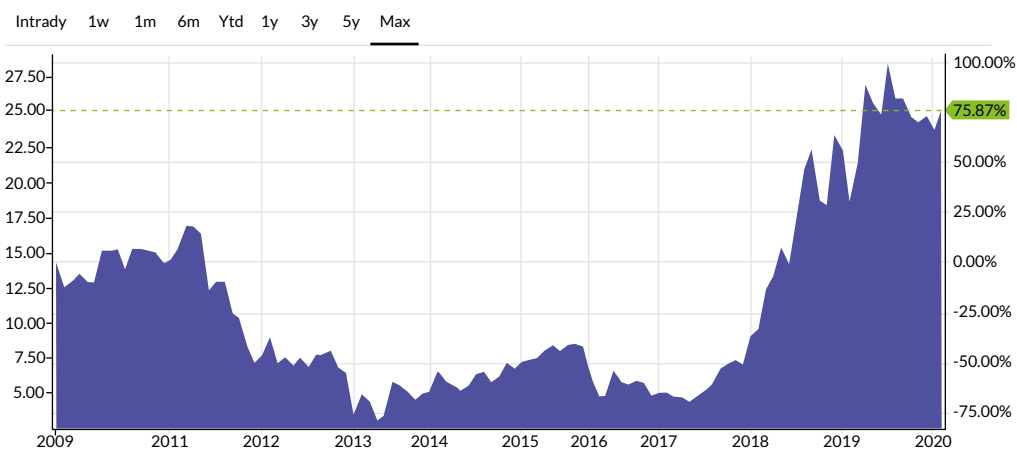
¹⁹ Zob. więcej: Harvey, H., Min, H. (2017). *The China Carbon Market Just Launched, And It's The World's Largest. Here's How It Can Succeed*. Pozyskano z: <https://www.forbes.com/sites/energyinnovation/2017/12/19/the-china-carbon-market-just-launched-and-its-the-worlds-largest-heres-how-it-can-succeed/#1e7fe117ce6c>

wzmoczone wysiłki w obszarze ograniczania emisji – nie ze względu na międzynarodową, w tym unijną, presję, lecz w wyniku wzrostu świadomości ekologicznej i realnych zagrożeń dla własnych obywateli.

Podjęmowane przez Komisję Europejską działania są niekiedy również kontrowersyjne. Przykładem jest tzw. *backloading*, czyli opóźnianie sprzedaży na aukcji uprawnień do emisji. Pierwszy raz Komisja zastosowała ten środek podczas trzeciego etapu, kiedy wstrzymała sprzedaż na aukcji 900 mln uprawnień. Trzeba jednak zaznaczyć, że *backloading* nie oznacza zmiany ogólnej liczby uprawnień przeznaczonych do sprzedaży aukcyjnej, a jedynie inne niż wcześniej zakładano rozplanowanie aukcji w czasie. Komisja m.in. doprowadziła do zmniejszenia wolumenu aukcyjnego o:

- 400 mln uprawnień w 2014 r.,
- 300 mln uprawnień w 2015 r.,
- 200 mln uprawnień w 2016 r.

Powoduje to niestabilność cen uprawnień do emisji, które mogą wzrastać nawet o 300% w przeciągu jednego roku. Taka sytuacja miała miejsce np. w lipcu 2018 r. (Chojnacki, 2018). Zmiany cen emisji w ramach EU ETS przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Ceny uprawnień do emisji w ramach EU ETS w okresie 10.2009–02.2020

Źródło: Markets Insider. (2020). *CO₂ European mission allowances*. Pozyskano z: <https://markets.businessinsider.com/commodities/co2-european-emission-allowances>

Niestabilność cen uprawnień do emisji utrudnia zatem funkcjonowanie przedsiębiorstw, które nie mogą ich przewidzieć nawet w przeciągu kilku miesięcy. Jednocześnie polityka klimatyczna UE wpływa w nierównym stopniu na poszczególne państwa członkowskie.

Polityki energetyczna i klimatyczna są szczególnie istotne dla Polski. Analiza struktury wytwarzania energii elektrycznej na tle państw Unii Europejskiej jasno pokazuje specyficzną sytuację naszego kraju. Jego system energetyczny opiera się prawie wyłącznie na jednym źródle energii – węglu. Jak jednak zauważono, „(...) sytuacja powoli zaczyna się zmieniać. W 2000 r. udział węgla w produkcji energii elektrycznej

wynosił 93%, w 2005 r. zmniejszył się nieznacznie o 1[pkt]%, ale już w 2010 roku, po raz pierwszy od kilkudziesięciu lat, udział ten spadł poniżej 90%” (Olkuski, 2013, s. 149). W 2018 r. z węgla wyprodukowano w Polsce ok. 79,56% energii elektrycznej (Urząd Regulacji Energetyki, 2019, s. 51). Można zatem powiedzieć, że wymogi UE, w tym zasady działania EU ETS, wymagają od polskich władz i przedsiębiorstw podejmowania realnych działań na rzecz transformacji sektora energetycznego i obniżenia emisji gazów cieplarnianych.

Polska musi jednak ponosić nieproporcjonalne koszty dostosowawcze do kolejnych zaostżeń przepisów. Jak oszacowano, proponowane zmiany czwartej fazy EU ETS spowodują dodatkowe koszty dla Polski w wysokości ok. 90 mld PLN (Rzeczpospolita, 2018). Co więcej, ceny uprawnień do emisji wpływają także na ceny energii elektrycznej dla przedsiębiorstw²⁰. Szacuje się, że polskie przedsiębiorstwa mogą płacić za energię elektryczną nawet o 30 EUR/MWh więcej niż przedsiębiorstwa np. w Czechach²¹. Należy jednak zauważyć, że funkcjonowanie unijnego systemu handlu uprawnieniami do emisji może mieć także korzystne konsekwencje dla Polski, w rozumieniu wzmocnienia transformacji energetycznej gospodarki krajowej.

Polska powinna podjąć realne działania dostosowawcze, mające na celu wzmocnienie transformacji energetycznej. Dzięki niej obniżeniu uległby udział węgla w miksie energetycznym oraz zapotrzebowanie na energię, a polska gospodarka byłaby mniej energochłonna i mniej emisyjna. Łączne koszty transformacji energetycznej Polski mogą być na poziomie nawet ponad 382 mln EUR²². Jednocześnie trzeba stwierdzić, że nie wszystkie decyzje i kolejne restrykcje będą mieć realny wpływ na poziom emisji gazów cieplarnianych w Unii Europejskiej. Są one raczej instrumentem promocji konkretnych rozwiązań i technologii, co w uprzywilejowanej pozycji stawia państwa mające dane technologie, czyli najbogatsze państwa członkowskie UE. Nie należy zatem bezkrytycznie podchodzić do EU ETS i do polityki klimatycznej UE. Unia Europejska przeznaczająca bowiem istotną część swojego budżetu na wysokoemisyjne przemysłowe rolnictwo, które nie jest objęte systemem (tzw. *non-ETS*), podobnie zresztą jak znaczny obszar transportu. Pomocne byłyby intensywne działania lobbingsowe i realne starania na szczereble Rady Europejskiej, Rady UE i Parlamentu Europejskiego w celu zatrzymania planowanych niekorzystnych dla Polski zmian.

Trzeba jednak się spodziewać raczej dalszego zaostrzenia polityki klimatycznej UE nawet w przypadku sprzeciwu części państw członkowskich. Komisja propo-

²⁰ Zob. więcej: Kudełko, M. (2017). Wpływ ryzyka zmiany cen uprawnień zbywalnych do emisji CO₂ na krajowy sektor energetyczny. *Zarządzanie i Finanse*, 15 (2/2).

²¹ Zob. więcej: *Polska: Przez wzrost cen energii gospodarka traci swoją konkurencyjność. Przyczyną wzrost opłat za emisję CO₂*. (2018). Pozyskano z: <https://politykapolska.eu/2018/10/11/polska-przez-wzrost-cen-energii-gospodarka-traci-swoja-konkurencyjnosc-przyczyna-wzrost-oplat-za-emisje-co2/>

²² Na podstawie analiz zawartych w projekcie *Krajowego planu na rzecz energii i klimatu na lata 2021–2030* (dostępnym na stronie internetowej Ministerstwa Energii: <https://www.gov.pl/web/energia/projekt-krajowego-planu-na-rzecz-energii-i-klimatu-na-lata-2021-2030>, Załącznik 2. Rozdział 5.3 Przegląd potrzeb inwestycyjnych) w latach 2016–2040 Polska wyda na transformację energetyczną gospodarki łącznie ok. 382 mld EUR.

nuje „wykorzystanie postanowień traktatów, które umożliwiają Parlamentowi Europejskiemu i Radzie przyjmowanie wniosków (...) w drodze zwykłej procedury ustawodawczej, kwalifikowaną większością głosów, a nie jednomyślnie” (Komisja Europejska, 2019, s. 6). Z tego wniossek, że dalsze zaostrzenie polityki klimatycznej UE będzie mieć miejsce również w przypadku sprzeciwu Polski. Należy zatem korzystać z tych narzędzi i zachęt, które mogą wspierać transformację energetyczną Polski ze względu na wyjątkową sytuację polskiego sektora energetycznego na tle innych państw członkowskich i dalsze inwestycje w krajowy przemysł wydobywczy węgla²³.

4. Ocena polityki klimatycznej Unii Europejskiej z perspektywy polityki publicznej

Politykę klimatyczną Unii Europejskiej można oceniać przez pryzmat kryteriów, które często są wykorzystywane w ewaluacji polityk publicznych. Są to przede wszystkim (Cygan, Szpak, 2019, s. 10):

- **trafność** (ang. *relevance*): adekwatność planowanych celów interwencji i metod jej wdrażania do zidentyfikowanych problemów i wyzwań o charakterze społecznym i ekonomicznym;
- **skuteczność** (ang. *effectiveness*): stopień realizacji zakładanych celów, skuteczność użytych metod, instytucji oraz wpływ czynników zewnętrznych na ostateczne efekty;
- **wydajność** (ang. *efficiency*): relacja między nakładami, kosztami, zasobami (finansowymi, ludzkimi, administracyjnymi) a osiągniętymi efektami programu publicznego;
- **użyteczność** (ang. *utility*): całość rzeczywistych efektów wywołanych przez program publiczny (zarówno planowanych, jak i nieplanowanych);
- **trwałość** (ang. *sustainability*): ciągłość efektów danej polityki publicznej w perspektywie średnio- i długookresowej.

Biorąc pod uwagę, że cel osiągnięcia neutralności klimatycznej jest odpowiedzią na postępujące zmiany klimatyczne, można go ocenić wysoko, ponieważ jest na nie logiczną odpowiedzią – skoro zmiany klimatyczne są powodowane przez emisje gazów cieplarnianych, to ich ograniczenie jest właściwym rozwiązaniem. Jednocześnie trzeba zauważyć, że nawet radykalne ograniczenie emisji gazów cieplarnianych przez Unię Europejską nie doprowadzi do obniżenia ich globalnego poziomu. Jest to zatem pytanie o trafność projektowanych działań. Co więcej, należy zauważyć, że zerowy poziom emisji gazów cieplarnianych netto nie oznacza braku emisji, a tylko ich równoważenie. Może to powodować przynajmniej częściową fasadowość polityki klimatycznej w przypadku stosowania rozwiązań opartych na argumentach poza-

²³ Przykładem takich działań jest przedłużenie przez Ministerstwo Klimatu koncesji z pozwoleniem dalszej eksploatacji złoża węgla brunatnego w Turowie przez kolejne sześć lat. Zob. więcej: Sawicki, B. (2020). *Ministerstwo klimatu przedłużyło koncesję odkrywkę w Turowie*. Pozyskano z: <https://biznesalert.pl/koncesja-przedluzenie-turow-pge-wegiel-brunatny-energetyka/>

merytorycznych²⁴. Jednocześnie trudno uznać za trafne wyłączenie części transportu lotniczego z EU ETS.

Dotychczasowa polityka klimatyczna UE wykazywała jednak istotną skuteczność. W latach 1990–2018 Unia Europejska zmniejszyła emisje gazów cieplarnianych o 23%, przy jednoczesnym wzroście gospodarczym o 61% (Komisja Europejska, 2019b, s. 6). Trzeba jednak zwrócić uwagę zarówno na procesy transformacyjne w państwach Europy Środkowo-Wschodniej, w tym szczególnie Polski, jak i na zjawisko przenoszenia emisji gazów cieplarnianych poza Unię Europejską (ang. *carbon leakage*)²⁵. Może to w efekcie prowadzić nawet do wzrostu globalnego poziomu emisji, np. ze względu stosowane na innych kontynentach mniej zaawansowane metody produkcji. Jednocześnie w samym Europejskim Zielonym Ładzie zauważono, że dotychczasowe narzędzia nie pozwolą na osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 r.

Wydajność polityki klimatycznej Unii Europejskiej może być analizowana w wymiarze zewnętrznym, tj. wpływu na globalną politykę klimatyczną i globalny poziom emisji, oraz w wymiarze wewnętrznym. W pierwszym przypadku jej ocena musi być negatywna (jest kosztowna i bez znaczenia), w drugim jej ocena jest bardziej złożona, czego przykładem jest kosztowna i problematyczna transformacja energetyczna w Niemczech²⁶.

Warto także analizować wszystkie rezultaty polityki klimatycznej, w tym również jej negatywne i nieplanowane konsekwencje (ang. *unintended consequences*). Szacuje się, że problem ubóstwa energetycznego dotyczy nawet 50 mln obywateli Unii Europejskiej²⁷. Kolejne restrykcje spowodują pogłębienie tego problemu. Jednocześnie można przewidywać, że część przedsiębiorców nie będzie w stanie dostosować się do dalszych zmian, a niektóre działania będą mieć charakter pozorny (ang. *greenwashing*). Dodatkowo istnieje ryzyko, że przy wyborze konkretnych rozwiązań będą brane pod uwagę czynniki pozamerytoryczne związane z siłą oddziaływania lobbingu określonych państw i podmiotów gospodarczych. Jest to dla Polski gorsza sytuacja ze względu na słabość polskiego lobbingu, co determinują m.in. małe doświadczenia instytucjonalne w zakresie zarządzania publicznego, niska jakość polityk publicznych, niekonsekwentna polityka kształtowania relacji między Polską a organami UE oraz ostry konflikt polityczny. Ogra-

²⁴ Można przyjąć, że łatwiej będzie wykazać równoważenie emisji (np. poprzez samo posiadanie terenów leśnych) niż kosztowne inwestycje w wielu obszarach gospodarki. Przykładem kontrowersyjności rozwiązań było włączenie wysokoemisyjnej biomasy leśnej do dyrektywy OZE, co zwiększyło udział OZE w całkowitym zużyciu energii w UE, ale zwiększyło jednocześnie emisję gazów cieplarnianych.

²⁵ Zob. więcej: Vivid Economics with Ecofys. (2013). *Carbon leakage prospects under Phase III of the EU ETS*. Pozyskano z: <https://www.vivideconomics.com/casestudy/carbon-leakage-prospects-under-phase-iii-of-the-eu-ets-and-beyond/>

²⁶ Koszty Energiewende szacowane są na 25 mld EUR rocznie, a ceny energii dla gospodarstw domowych są jednymi z wyższych w Europie. Andor, M., Frondel, M., Vance, C. (2017). *Germany's Energiewende: A Tale of Increasing Costs and Decreasing Willingness-To-Pay*. *IAEE Energy Forum* (Fourth Quarter).

²⁷ W samym Europejskim Zielonym Ładzie zwrócono uwagę, że „50 mln osób ma problem z ogrzaniem swoich domów”. Komisja Europejska. (2019). *Europejski Zielony Ład*. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. COM(2019) 640 final. Bruksela: Komisja Europejska, s. 11.

nicza to wpływ Polski na współkształtowanie polityki klimatycznej Unii Europejskiej, która będzie w coraz większym stopniu oddziaływać na polską gospodarkę.

Warto także zauważyć, że Europejski Zielony Ład wprowadza kolejne zmiany do przyjętych wcześniej ustaleń, szczególnie w zakresie poziomu redukcji emisji w perspektywie 2030 r., co dodatkowo zmniejsza pewność otoczenia biznesowego dla sektora prywatnego. Co więcej, trafność danej interwencji publicznej powinna być analizowana przed jej rozpoczęciem.

Podsumowanie

Europejski Zielony Ład jest nową wizją Unii Europejskiej na rzecz wzrostu gospodarczego, której celem jest osiągnięcie tzw. neutralności klimatycznej, czyli zerowego poziomu emisji gazów cieplarnianych netto w perspektywie 2050 r. Plan ten będzie oznaczać nie tylko konieczność przeznaczenia istotnych środków finansowych, lecz także bezprecedensowe przeprojektowanie systemu społeczno-gospodarczego w Unii Europejskiej. Osiągnięcie zakładanych celów wydaje się mało realne, szczególnie w perspektywie 2030 r.

Realizacja zamierzeń strategii UE, która zostanie zdefiniowana w najbliższym czasie, będzie istotnie oddziaływać na gospodarki państw członkowskich, w tym szczególnie państw wykorzystujących wysokoemisyjne nośniki energii. Może to spowodować ograniczenie konkurencyjności tych gospodarek i ich uzależnienie od importowania technologii niskoemisyjnych. Pośrednio może dojść do zwiększenia skali ubóstwa energetycznego w Polsce.

Polityka klimatyczna UE, realizowana w oderwaniu od działań podejmowanych na innych kontynentach, nie spowoduje zatrzymania wzrostu globalnego poziomu emisji, a jej tzw. przywództwo klimatyczne będzie zapewne nadal ignorowane. Wydaje się jednak, że implementacja Europejskiego Zielonego Ładu będzie postępować i nie zostanie istotnie spowolniona, np. w wyniku sytuacji epidemiologicznej w Unii Europejskiej (COVID-19). Determinacja do realizacji nowych celów klimatycznych wynika nie tylko z wyzwań klimatycznych, lecz także ma poparcie polityczne większości państw członkowskich oraz istotne poparcie społeczne.

Bibliografia

- Andor, M., Frondel, M., Vance, C. (2017). Germany's Energiewende: A Tale of Increasing Costs and Decreasing Willingness-To-Pay. *IAEE Energy Forum (Fourth Quarter)*.
- Chojnacki, I. (2018). *Lipiec przyniósł kolejny rekord cenowy uprawnień do emisji CO₂*. Poyzyskano z: https://energetyka.wnp.pl/lipiec-przyniosl-kolejny-rekord-cenowy-uprawnien-do-emisji-co2,327883_1_0_0.html
- Cygan, P., Szpak, K. (2019). *Ranking Polityk Publicznych 2019*. Kraków: Fundacja Instytut Polityk Publicznych.
- Czaplicki, A. (2017). Ewolucja unijnego systemu handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych (EU ETS). *Polityka energetyczna – Energy Policy Journal*, 20(2).
- European Commission. (2000). *Green Paper on greenhouse gas emissions trading within the European Union*. COM(2000) 87 final. Brussels: European Commission.

- European Commission. (2020). *A New Industrial Strategy for Europe*. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM(2020) 102 final. Brussels: European Commission.
- European Environment Agency. (2020). Pozyskano z: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/emissions-trading-viewer-1>
- European Parliament, Council. (2003). *Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC*. Luxembourg: European Parliament, Council.
- Guidance. *Meeting climate change requirements from 1 January 2021*. (2020). Pozyskano z: <https://www.gov.uk/government/publications/meeting-climate-change-requirements-if-theres-no-brexit-deal/meeting-climate-change-requirements-if-theres-no-brexit-deal>
- Jednolity Akt Europejski*. Dz.U. L 169 z 29.6.1987.
- Komisja Europejska. (2014a). *Europejska strategia bezpieczeństwa energetycznego*. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego i Rady. COM(2014) 330 final. Bruksela: Komisja Europejska.
- Komisja Europejska. (2014b). *Ramy polityczne na okres 2020–2030 dotyczące klimatu i energii*. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. COM(2014) 15 final. Bruksela: Komisja Europejska.
- Komisja Europejska. (2015a). *EU ETS Handbook*. Pozyskano z: https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/ets_handbook_en.pdf
- Komisja Europejska. (2015b). *Strategia ramowa na rzecz stabilnej unii energetycznej opartej na przyszłościowej polityce w dziedzinie klimatu*. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego, Komitetu Regionów i Europejskiego Banku Inwestycyjnego. COM(2015) 80 final. Bruksela: Komisja Europejska.
- Komisja Europejska. (2018). *Czysta planeta dla wszystkich. Europejska długoterminowa wizja strategiczna dobrze prosperującej, nowoczesnej, konkurencyjnej i neutralnej dla klimatu gospodarki*. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego, Komitetu Regionów i Europejskiego Banku Inwestycyjnego. COM(2018) 773 final. Bruksela: Komisja Europejska.
- Komisja Europejska. (2019a). *Europejski Zielony Ład*. Aneks do Komunikatu Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Bruksela: Komisja Europejska.
- Komisja Europejska. (2019b). *Zjednoczeni w realizacji unii energetycznej i działań w dziedzinie klimatu – Przygotowanie fundamentów w celu zapewnienia udanego przejścia na czystą energię*. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. COM(2019) 285 final. Bruksela: Komisja Europejska.
- Komisja Europejska. (2020). *Strategia „od pola do stołu” na rzecz sprawiedliwego, zdrowego i przyjaznego dla środowiska systemu żywnościowego*. Komunikat Komisji do Parla-

- mentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. COM(2020) 381 final. Bruksela: Komisja Europejska.
- Laky, Z. (2019). *Polityka w dziedzinie środowiska: ogólne zasady i podstawowe ramy*. Pozyskano z: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/pl/sheet/71/polityka-w-dziedzinie-srodowiska-ogolne-zasady-i-podstawowe-ramy>
- Markets Insider. (2020). *CO₂ European mission allowances*. Pozyskano z: <https://markets.businessinsider.com/commodities/co2-european-emission-allowances>
- Natural gas supply statistics*. (2019). Pozyskano z: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/pdfscache/10590.pdf>
- Olkuski, T. (2013). Analiza struktury produkcji energii elektrycznej we Francji i w Polsce. *Polityka energetyczna – Energy Policy Journal*, 16(2).
- Parlament Europejski. (2019a). Rezolucja Parlamentu Europejskiego z 14 marca 2019 r. w sprawie zmiany klimatu – europejska, długofalowa i zgodna z porozumieniem paryskim wizja strategiczna na rzecz dobrze prosperującej, nowoczesnej, konkurencyjnej i neutralnej dla klimatu gospodarki. 2019/2582(RSP). Strasburg: Parlament Europejski.
- Parlament Europejski. (2019b). Rezolucja Parlamentu Europejskiego z 15 stycznia 2020 r. w sprawie Europejskiego Zielonego Ładu. 2019/2956(RSP). Strasburg: Parlament Europejski.
- Parlament Europejski, Rada. (2020). Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady ustanawiające ramy na potrzeby osiągnięcia neutralności klimatycznej i zmieniające rozporządzenie (UE) 2018/1999 (Europejskie prawo o klimacie, wniosek ustawodawczy). COM(2020) 80 final, 2020/0036 (COD). Bruksela: Parlament Europejski, Rada.
- Rada Europejska. (2007). *Konkluzje Rady Europejskiej z 8–9 marca 2007 r.* Bruksela: Rada Europejska.
- Rada Europejska. (2014a). *Konkluzje Rady Europejskiej z 26–27 czerwca 2014 r.* Bruksela: Rada Europejska.
- Rada Europejska. (2014b). *Konkluzje Rady Europejskiej z 23–24 października 2014 r.* Bruksela: Rada Europejska.
- Rada Europejska. (2019). *Konkluzje Rady Europejskiej z 12 grudnia 2019 r.* Bruksela: Rada Europejska.
- Rzeczpospolita. (2018). *Zmiany zasad handlu uprawnieniami do emisji CO₂ kosztowne dla polskiej energetyki*. Pozyskano z: <https://energia.rp.pl/smog/2140-zmiany-zasad-handlu-uprawnieniami-emisji-co2-kosztowne-dla-polskiej-energetyki>
- Sawicki, B. (2020). *Ministerstwo klimatu przedłużyło koncesję odkrywki w Turowie*. Pozyskano z: <https://biznesalert.pl/koncesja-przedluzenie-turow-pge-wegiel-brunatny-energetyka/>
- Sulmicka, M. (2011). Strategia „Europa 2020” – postlizbońska polityka rozwoju Unii Europejskiej. *Polityka gospodarcza w świetle kryzysowych doświadczeń*. Prace i Materiały Instytutu Rozwoju Gospodarczego, 85. Warszawa: Szkoła Główna Handlowa.
- Traktat o funkcjonowaniu Unii Europejskiej* (wersja skonsolidowana). (2012). Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej. 2012/C 326/47.
- Traktat z Lizbony zmieniający Traktat o Unii Europejskiej i Traktat ustanawiający Wspólnotę Europejską*. (2007). Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej. 2007/C 306/01.
- Tusk, D. (2014). *A united Europe can end Russia's energy stranglehold*. Pozyskano z: <https://www.ft.com/content/91508464-c661-11e3-ba0e-00144feabdc0>

- Unijny system handlu uprawnieniami do emisji (EU ETS)*. (2020). Pozyskano z: https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_pl
- Vandendriessche, M. (2017). *The Road to the Energy Union*. Pozyskano z: <https://fsr.eu.eu/road-energy-union/>
- Urząd Regulacji Energetyki. (2019). *Sprawozdanie z działalności Prezesa URE w 2018 r.* Warszawa: Urząd Regulacji Energetyki.
- Zmiany zasad handlu uprawnieniami do emisji CO₂ kosztowne dla polskiej energetyki*. (2018). Pozyskano z: <https://energia rp.pl/smog/2140-zmiany-zasad-handlu-uprawnieniami-emisji-co2-kosztowne-dla-polskiej-energetyki>

Streszczenie

Celem artykułu jest przeanalizowanie perspektyw realizacji polityki klimatycznej Unii Europejskiej do 2050 r. Punktem wyjścia jest przedstawienie najważniejszych ram polityki energetyczno-klimatycznej UE oraz jej narzędzi, w tym szczególnie unijnego systemu handlu uprawnieniami do emisji. Opisywane są również główne uwarunkowania polityki klimatycznej UE, w tym determinanty zewnętrzne. W najbliższych latach polityka klimatyczna UE będzie postrzegana przez pryzmat Europejskiego Zielonego Ładu. Choć determinacja Unii Europejskiej do jego urzeczywistnienia jest istotna, to nie wpłynie on jednak na globalną politykę klimatyczną, przynajmniej w krótkim okresie. Będzie on jednak silnie oddziaływać na gospodarki państw członkowskich UE, które nie są do tego odpowiednio przygotowane. Omówiono najważniejsze ryzyka i konsekwencje realizacji działań w ramach polityki klimatycznej UE oraz zasygnalizowano konieczność oceny Europejskiego Zielonego Ładu z perspektywy polityki publicznej.

Słowa kluczowe: Unia Europejska, polityka klimatyczna, polityka energetyczna, polityka publiczna, Europejski Zielony Ład, neutralność klimatyczna, EU ETS.

THE EUROPEAN UNION'S CLIMATE POLICY FOR 2050

SUMMARY

The aim of the article is to analyse the prospects for the implementation of the European Union climate policy until 2050. The starting point is to present the most important framework of the European Union's energy and climate policy and its tools, including in particular the EU Emissions Trading Scheme. It also describes the main determinants of the EU's climate policy, including external determinants. In the coming years the European Union's climate policy will be seen through the prism of the European Green Deal. Although the European Union's determination to make it a reality is significant, it will not affect global climate policy, at least in the short term. However, it will have a strong impact on the economies of EU Member States that are not adequately prepared for it. The most important risks and consequences of the European Union's climate policy implementation are discussed and the need to assess the European Green Deal from a public policy perspective.

Keywords: European Union, climate policy, energy policy, public policy, European Green Deal, climate neutrality, EU ETS.

JEL: F500, F680, H000, H300, O1



Joanna Kulczycka

Dr hab. Joanna Kulczycka, prof. nadzw. AGH, pracownik Wydziału Zarządzania AGH oraz kierownik Pracowni Badań Strategicznych w Instytucie Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Polskiej Akademii Nauk. Pełni również funkcje prezes zarządu Klastra Gospodarki Odpadowej i Recyklingu (Krajowego Klastra Kluczowego) oraz dyrektor biura Instytutu Autostrada Technologii i Innowacji. Autor ponad 200 publikacji (artykułów naukowych, monografii i rozdziałów w monografiach, w Web of Science H index = 14, liczba cytowań 650).

AGH, Wydział Zarządzania, Kraków, ul. Gramatyka 10/110

<https://orcid.org/0000-0002-4377-5506>

Gospodarka o obiegu zamkniętym dla zmian klimatu

Wprowadzenie

Gospodarka o obiegu zamkniętym (GOZ) to globalny model rozwoju społeczno-gospodarczego zmierzający do racjonalnego wykorzystania zasobów i ograniczenia negatywnego oddziaływania produktów i procesów na środowisko w całym łańcuchu wartości. Promowane są ekoinnowacyjne rozwiązania spełniające następujące założenia:

- a) wartość dodana surowców/zasobów, materiałów i produktów jest maksymalizowana w łańcuchu wartości, od projektanta do konsumenta,
- b) ilość wytwarzanych odpadów jest minimalizowana, a powstające odpady są zagospodarowywane zgodnie z hierarchią sposobów postępowania z odpadami (zapobieganie powstawaniu odpadów, przygotowywanie do ponownego użycia, recykling, inne sposoby odzysku, unieszkodliwienie; Kulczycka, Pędziwiatr, 2019, s. 9–19).

W polityce Chin już od 2002 r. są skutecznie wdrażane modele biznesowe GOZ, głównie w zakresie symbiozy przemysłowej i budowania parków technologicznych. Natomiast liderami innowacyjnych rozwiązań z zakresu GOZ są Japończycy i Niemcy, którzy wykorzystując analizy przepływu materiałów (MFA) i ich wpływu na środowisko, wdrażali zasady czystszej produkcji i szczupłego zarządzania, szukając jednocześnie wymiernych korzyści gospodarczych.

W ciągu ostatnich kilku lat GOZ jest jednym z priorytetów polityki gospodarczej Komisji Europejskiej. Zdefiniowanie zakresu i planowanych działań zostało przedstawione w wielu dokumentach, m.in. w Komunikacie z 2015 r. pt. *Zamknięcie obiegu – plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym* (Komisja Europejska, 2015). Wskazano w nim, iż istotne znaczenie ma utrzymanie wartości produktów, materiałów i zasobów w gospodarce tak długo, jak to możliwe, oraz minimalizowanie wytwarzania odpadów, z uwzględnieniem trwałości produktów i ich ponownego użycia. Oszacowano również, iż zapobieganie powstawaniu odpadów, ponowne ich użycie i podobne działania mogą przynieść przedsiębiorstwom w UE oszczędności netto nawet do 600 mld EUR lub 8% rocznego obrotu, ograniczając jednocześnie łączne emisje roczne gazów cieplarnianych o 2–4%. Promowane są nie tylko działania wymagające znacznych nakładów inwestycyjnych, ale przede wszystkim nowe modele biznesowe umożliwiające efektywne wykorzystanie istniejącej infrastruktury, wirtualizacji, promowania produktów trwałych i ich kaskadowego wykorzystania, symbiozy

przemysłowej i innych rozwiązań ocenianych w całym łańcuchu wartości, np. minimalizujących transport. Ponadto wprowadzanie działań zgodnych z zasadami GOZ powinno zmniejszyć presję na środowisko, zwiększyć bezpieczeństwo dostaw surowców, konkurencyjność, pobudzić innowacje, wzrost gospodarczy i wielkość zatrudnienia (580 000 nowych miejsc pracy w UE). Natomiast konsumentom może zapewnić bardziej trwałe i innowacyjne produkty, mające wpływ na oszczędności i lepszą jakość życia. W efekcie realizacja działań zgodnych z GOZ nastąpi po oddzieleniu wzrostu gospodarczego (ang. *decoupling*) od zużycia zasobów, co przyniesie pozytywne skutki środowiskowe, gospodarcze i społeczne.

1. GOZ i jej główne założenia w dokumentach strategicznych UE

Model GOZ jest ściśle związany z ideą i realizacją zasad zrównoważonego rozwoju, gospodarki niskoemisyjnej, zasobooszczędnej i konkurencyjnej. Komisja Europejska w 2017 r. wskazała, iż GOZ jest „kluczowym czynnikiem pozwalającym odwrócić proces zmiany klimatu, prowadzącym do wykorzystywania ograniczonych zasobów naszej planety w bardziej zrównoważony sposób oraz przyczyniającym się do wzrostu gospodarczego w Europie”. Ursula von der Leyen w swoim programie pt. *Unia, która mierzy wyżej. Mój program dla Europy* zadeklarowała, że w UE „będziemy światowym liderem w dziedzinie gospodarki o obiegu zamkniętym oraz w dziedzinie czystych technologii. Będziemy działać na rzecz dekarbonizacji sektorów energochłonnych”. W efekcie w dokumencie *Europejski Zielony Ład* (Komisja Europejska, 2019) wskazano na konieczność zmobilizowania niektórych branż na rzecz czystej gospodarki o obiegu zamkniętym, gdyż są one zbyt „liniowe” i uzależnione od przerobu nowych surowców, a tylko 12% materiałów w nich wykorzystywanych pochodzi z recyklingu. Odpowiedzią na to wyzwanie było opracowanie i przyjęcie w marcu 2020 r. przez KE nowego planu działania dotyczącego GOZ (Komisja Europejska, 2020) przedstawiającego rozwiązania i metody osiągnięcia neutralnej dla klimatu, a jednocześnie konkurencyjnej gospodarki. W związku z tym wytypowano i zaproponowano zmiany w sektorach, które wykorzystują najwięcej zasobów. Są to:

- **elektronika i sprzęt ICT** – głównie w zakresie wydłużenia cyklu życia produktów (prawo do naprawy, system zwrotu), poprawy zbiórki i przetwarzania odpadów;
- **baterie, akumulatory i pojazdy** – w zakresie odzysku, śladu węglowego, bezpieczeństwa i zrównoważonego pozyskania surowców, optymalizacji infrastruktury i wykorzystania pojazdów;
- **opakowania** – w zakresie zapobiegania powstawaniu odpadów, ponownego ich wykorzystania, zmniejszenia złożoności i wielomateriałowości w celu ułatwienia recyklingu;
- **tworzywa sztuczne** – w zakresie zawartości materiałów pochodzących z recyklingu, tworzyw sztucznych ulegających biodegradacji, regulacji dotyczących mikroplastików i etykietowania;

- **wyroby włókiennicze** – w zakresie ekoprojektowania oraz wtórnego wykorzystania;
- **budownictwo i budynki** – w zakresie efektywności materiałowej, odzysku, renowacji, stosowania nowego systemu Level(s) (EU Levels)¹ w celu włączenia oceny cyklu życia do zamówień publicznych i unijnych ram zrównoważonego finansowania oraz zbadania zasadności określenia celów w zakresie ograniczenia emisji dwutlenku węgla i możliwości jego składowania;
- **żywność** – w zakresie ograniczenia marnotrawstwa żywności, skrócenia łańcuchów dostaw, opakowań wielokrotnego użytku, gospodarki wodą.

Wskazano również, iż nadmierne zużycie zasobów jest ściśle związane ze zmianami klimatu, gdyż połowa całkowitej emisji gazów cieplarnianych oraz ponad 90% utraty różnorodności biologicznej i deficytu wody wynika z wydobycia i przetwarzania zasobów naturalnych.

W analizowanym planie działań KE istotne znaczenie ma też zmniejszenie ilości odpadów, możliwości ich przekształcania w surowce wtórne wysokiej jakości dzięki proponowaniu nowych rozwiązań dotyczących ogólnounijnych kryteriów zniesienia statusu odpadu dla niektórych ich strumieni, działań normalizacyjnych lub zwiększenia monitorowania, tj. transparentności rynku surowców wtórnych. W dokumencie podkreślono, iż oprócz ograniczenia emisji gazów cieplarnianych dla osiągnięcia neutralności klimatycznej konieczne będzie usuwanie dwutlenku węgla z atmosfery, np. poprzez odbudowę ekosystemów, ochronę lasów, ponowne wykorzystanie i składowanie dwutlenku węgla w produktach (poprzez mineralizację w materiałach budowlanych itp.). W tym celu rozważa się możliwość określenia ram regulacyjnych dotyczących certyfikacji usuwania dwutlenku węgla.

Pomimo proponowania nowych systemowych i prawnych rozwiązań GOZ nie jest ujęciem nowym, gdyż nawiązuje do wielu koncepcji z ostatnich 30 lat, np. ekologii przemysłowej, czystszej produkcji, zielonej gospodarki, ekonomii ekologicznej, szeroko opisywanej w literaturze krajowej i zagranicznej (Poskrobko, 1998; Cichy, 2015; Kulczycka, 2011; Foltynowicz, 2011; Czaja, Becla, 2007; Fiedor, Graczyk, Jakubczyk, 2002; Pearce, Turner, 1989; Freeman, 2003; OECD, 2011; Kowalski, Kulczycka, 2004). Szczególnie istotne są przy tym ujęcie funkcjonalne procesów zgodnie z ideą oceny cyklu życia w całym łańcuchu wartości oraz promocja wysokiej jakości produktów przy jak najszerszym wykorzystaniu surowców wtórnych. Realizacja GOZ to nie tylko nowe technologie, lecz także rozwiązania organizacyjne i modele biznesowe (symbioza gospodrcza, wirtualizacja, kaskadowe wykorzystanie produktów, ekonomia współdzielenia), które obejmują:

- zmiany w zarządzaniu przepływem materiałów umożliwiające ich obieg zwrotny poprzez recykling, przetworzenie lub modyfikacje (przekształcanie odpadów w zasoby) – np. w UE do 2030 r. 70% wszystkich odpadów opakowaniowych, a do 2035 r. 65% odpadów komunalnych powinno być poddane recyklingowi, a składowanie odpadów komunalnych ma ulec redukcji do 10%;

¹ EU levels. Pozyskano z: <https://ec.europa.eu/environment/eussd/buildings.htm>

- ekoprojektowanie wyrobów umożliwiające ich łatwiejsze utrzymanie, naprawy, modernizację lub recykling;
- wydłużenie okresu użytkowania produktów;
- zmniejszenie zużycia energii (trwałość) i zwiększenia udziału OZE;
- ograniczenie stosowania materiałów niebezpiecznych lub trudnych do recyklingu;
- rozwój usług oraz procesów mających zapobiegać przeznaczaniu produktów ubocznych na odpady.

Wiele działań GOZ rekomendowanych jest już w dokumentach UE, np.:

- w Dyrektywie 2019/904 – zakaz wprowadzania do obrotu wskazanych produktów jednorazowego użytku z tworzyw sztucznych (Dyrektywa, 2019);
- w Dyrektywie 2009/28/WE – ustanowienie obowiązkowego celu co najmniej udziału energii z OZE (art. 3 pkt 1: „Każde państwo członkowskie dba o to, aby jego udział energii ze źródeł odnawialnych (...) odpowiadał co najmniej jego krajowemu celowi ogólnemu (...). Te obowiązkowe krajowe cele ogólne są zgodne z celem zakładającym 20% udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto we Wspólnocie w 2020 r.” oraz art. 3 pkt 4: „Każde państwo członkowskie zapewnia, aby jego udział energii ze źródeł odnawialnych we wszystkich rodzajach transportu w 2020 r. wyniósł co najmniej 10% końcowego zużycia energii w transporcie w tym państwie członkowskim”, Dyrektywa, 2009);
- w Dyrektywie 2014/94/UE stwierdzono, iż energia elektryczna ma potencjał zwiększenia efektywności energetycznej pojazdów drogowych i przyczynienia się do ograniczenia emisji CO₂ z transportu. Państwa członkowskie powinny zapewnić stworzenie publicznie dostępnej infrastruktury dostarczania energii elektrycznej dla pojazdów (liczba takich punktów ładowania powinna zostać określona z uwzględnieniem szacunkowej liczby pojazdów elektrycznych, które będą zarejestrowane w każdym państwie członkowskim do końca 2020 r.; orientacyjnie odpowiednia średnia liczba punktów ładowania powinna odpowiadać co najmniej jednemu punktowi ładowania na 10 samochodów, z uwzględnieniem również typów samochodów, technologii ładowania i dostępnych prywatnych punktów ładowania, Dyrektywa, 2014).

Działania realizowane przez kraje członkowskie i rozwiązania w zakresie polityki GOZ powinny być dla KE wzorem i bodźcem do globalnego przejścia do sprawiedliwej, neutralnej dla klimatu i zasobooszczędnej gospodarki o obiegu zamkniętym (Komisja Europejska, 2020). W tym celu Komisja Europejska utworzyła European Circular Economy Stakeholder Platform mające wspierać dobre praktyki, udostępniać forum dyskusyjne i promować działania na rzecz rozwoju GOZ. W ujęciu globalnym na te działania zwracają uwagę zarówno organizacje międzynarodowe ONZ (w tym przede wszystkim UNEP Resource Panel), OECD, międzynarodowe instytucje finansowe (np. Bank Światowy), organizacje producentów, sieci i platformy współpracy (np. Circular Hotspot, Circular Economy Club) oraz organizacje pozarządowe (np. EEB, w tym promotor idei Fundacja Ellen MacArthur).

2. Modele biznesowe stosowane w GOZ i ich wpływ na zmiany klimatu

GOZ to również szersze wykorzystanie w polityce ekologicznej instrumentów administracyjno-prawnych i ekonomicznych. Wiele z nich bazuje na metodach uwzględniających wpływ produktów i organizacji na środowisko w całym łańcuchu wartości. Takie holistyczne ujęcie problematyki zostało już zasygnalizowane w dokumentach UE w 1992 r., m.in. w Rozporządzeniu Rady (EWG) nr 880/92 z dnia 23 marca 1992 r. w sprawie programu przyznawania wspólnotowego oznakowania ekologicznego (OJ L 99, 11 kwietnia 1992), a także w decyzji Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 22 lipca 2002 r. nr 1600/2002/WE127 ustanawiającej Szósty Wspólnotowy Program Działań w Zakresie Środowiska Naturalnego (Dz.U. L 242, 10 września 2002), Rozporządzenie Komisji 2017/1505 dotyczące dobrowolnego udziału organizacji w systemie ekozarządzania i audytu we Wspólnocie (EMAS)². Proponowana kompleksowa ocena wpływu na środowisko produktów i organizacji bazująca na metodyce oceny cyklu życia (ang. *Life Cycle Assessment*) ocenia zagrożenia środowiskowe w fazie wytwarzania, funkcjonowania i likwidacji wyrobu. Dzięki temu nie zostaje pominięty żaden bezpośredni czy pośredni aspekt środowiskowy, a ewentualny transfer oddziaływania na środowisko z jednego komponentu środowiska na inny (ograniczenie emisji do powietrza powodujące zwiększenie ilości odpadów), między procesami cyklu życia (z fazy produkcji do użytkowania) lub między wytwórcami, zostanie zidentyfikowany i uwzględniony w obliczeniach. Dodatkowo wyniki analiz umożliwiają wskazanie miejsc generujących największe zagrożenie dla środowiska, tzw. *hot spots*, w których występuje zużycie energii lub emisja CO₂. Obecnie w literaturze naukowej, projektach badawczych finansowanych z programu H2020, raportach realizowanych na zamówienie KE i przez JRC do oceny wpływu na środowisko powszechnie stosowane są metody przepływów materiałów (MFA), śladu węglowego (CF), oceny cyklu życia (LCA), śladu środowiskowego (PEF).

Są one także rekomendowane w instrumentach polityki środowiskowej KE, takich jak:

- deklaracje środowiskowe (EPD),
- unijny system handlu uprawnieniami do emisji (EU ETS),
- zielone zamówienia publiczne (GPP),

² Przy identyfikowaniu bezpośrednich i pośrednich aspektów środowiskowych swoich działań, wyrobów i usług organizacja przyjmuje perspektywę cyklu życia, uwzględniając etapy cyklu życia, które może kontrolować lub na które może mieć wpływ. Etapy te obejmują zazwyczaj nabywanie surowca, zakupy i zamówienia publiczne, projektowanie, produkcję, transport, użytkowanie, wycofywanie z eksploatacji oraz końcowe unieszkodliwianie, w zależności od działalności danej organizacji. Organizacja musi w większym stopniu uwzględnić perspektywę cyklu życia podczas określania aspektów środowiskowych i definiowania procesów oraz procedur w odniesieniu do jej działalności, produktów i usług. Może to obejmować etapy takie jak: pozyskiwanie surowców, projektowanie, produkcja, transport/dostawa, stosowanie, przetwarzanie po wycofaniu z eksploatacji i końcowa utylizacja, przy czym będą się one różnić w zależności od działalności organizacji. Ponadto należy wzmocnić aspekt korzyści dla środowiska i różnorodności biologicznej podczas oceny znaczenia aspektów środowiskowych.

- system ekzarządzania i audytów (EMAS),
- znakowanie środowiskowe (Ecolabel),
- system weryfikacji technologii ochrony środowiska (ETV),
- rozszerzona odpowiedzialność producenta (EPR),
- ocena najlepszych dostępnych technik (BREF),
- dyrektywa dotycząca ekoprojektowania (eco-design).

Przeznaczone są zarówno do oceny produktów, działań, jak i organizacji, w tym również dla małych i średnich przedsiębiorstw. W kontekście ograniczenia wpływu na zmiany klimatu istotne znaczenie ma EU ETS. Natomiast ślad węglowy (CF) i środowiskowy (PEF) jest coraz powszechniej stosowany w zielonych zamówieniach publicznych, ekoznakowaniu, deklaracjach środowiskowych itp., a także w relacjach B2B. Bazują one na tym samym założeniu uwzględniania wpływu na środowisko produktu w całym cyklu życia, przy czym CF dotyczy tylko jednego problemu środowiskowego, tzn. globalnego ocieplenia, a PEF informuje o oddziaływaniu wyrobów na środowisko w odniesieniu do kilkunastu problemów środowiskowych, w tym również globalnego ocieplenia. Dla obliczenia CF poszczególnych podmiotów gospodarczych należy określić poziom emisji do atmosfery i usunięcia z niej gazów cieplarnianych (GHG) występujących w cyklu życia analizowanego wyrobu (zgodnie z normą ISO 14067 i ISO 14064) i przeliczyć te wielkości, uwzględniając wartości potencjału globalnego ocieplenia (GWP). GWP to wskaźnik szkodliwości środowiskowej w zakresie zmian klimatycznych, wyrażony w tzw. ekwiwalentach dwutlenku węgla (Lewandowska, 2012). Dane niezbędne do oszacowania CF w Polsce można uzyskać z bazy wskaźników emisji utworzonej przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami. Na świecie korzysta się zwykle z raportów opracowanych przez organizację międzynarodową *non profit* Carbon Disclosure Project (CDP), która opracowała zasady dla firm oraz miast, umożliwiające im obliczanie, ujawnianie, zarządzanie oraz dzielenie się całościową informacją w zakresie działań ochrony środowiska. CDP działa we wszystkich sektorach, motywuje przedsiębiorców do działań prośrodowiskowych i do dzielenia się osiągnięciami w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych. Następnie tworzy raporty publikujące wyniki podane przez organizację, do których wcześniej wysłane zostało zapytanie dotyczące liczenia CF i podania obliczonej wartości (Kulczycka, Wernicka, 2015, s. 133–142). W 2018 r. takie informacje uzyskano od 6937 podmiotów (Global Climate Change Analysis, 2018).

Istotne znaczenie ma sama metodyka raportowania danych dotycząca nie tylko sumy gazów cieplarnianych wyrażonych w równoważnym CO₂ (CO_{2e} lub CO_{2eq}), lecz także zakres (Bureau Veritas, 2019) śladu węglowego w trzech zakresach (scope 1, 2 i 3). Dotyczy on całkowitej sumy bezpośrednich i pośrednich³ emisji gazów cieplarnianych występujących w całym łańcuchu wartości, np. związanych ze zużytymi surowcami, transportem lub energią. Zakres 1 dotyczy emisji bezpośrednich powstałych

³ Bezpośrednie aspekty środowiskowe obejmują działania organizacji, nad którymi sprawuje ona kontrolę zarządczą, pośrednie są to działania organizacji, jej wyroby i usługi mogące skutkować znaczącymi aspektami środowiskowymi, pozostającymi poza pełną kontrolą zarządczą organizacji, np. dotyczące opakowania, transportu, gospodarki odpadami po procesie użytkowania.

w urządzeniach kontrolowanych przez dany podmiot, zakres 2 obejmuje emisje pośrednie dotyczące zakupionej czy dostarczonej z zewnątrz energii (emisje GHG powstają w miejscu wytworzenia tych mediów), a zakres 3 to inne pośrednie emisje powstałe w całym łańcuchu wartości, np. związane z wydobyciem i wytworzeniem zakupionych surowców, półproduktów i usług, zagospodarowaniem odpadów, transportem, fazą użytkowania sprzedanych produktów. Z analizy raportów producentów energii w Polsce (Dygas, 2020) wynika, iż jedynie Energa i Enel (dla całej działalności w różnych krajach) raportowały emisje w tak szerokim zakresie (Tab. 1).

Tab. 1. Wielkości produkcji i emisji wybranych producentów energii

Energa (działalność obejmująca Polskę)	Enel (działalność całego przedsiębiorstwa)
<p>Energia elektryczna moc zainstalowana: 1 335,26 MW, w tym:</p> <ul style="list-style-type: none"> • OZE 664,26 MW, <p>produkcja: 3 628 GWh netto</p> <p>Energia ciepła moc zainstalowana: 651,40 MW produkcja łącznie: 005 GWh netto Całkowita energia zużyta z surowców = 9 649 GWh, w tym:</p> <ul style="list-style-type: none"> • z surowców nieodnawialnych (konwencjonalna) = 8 035 GWh • z surowców odnawialnych = 1 614 GWh <p>Całkowita zużyta (wykorzystana) energia zakupiona = 1 909 GWh Całkowita energia sprzedana przez organizację = 8 537 GWh</p>	<p>Energia elektryczna moc zainstalowana netto: 85 620 MW, w tym:</p> <ul style="list-style-type: none"> • OZE: 39 203 MW • atomowa: 3 318 MW <p>Energia ciepła moc zainstalowana ze źródeł konwencjonalnych (węgiel, ropa, gaz, CCGT plants): 43 099 MW produkcja łącznie: 250 339 GWh</p> <ul style="list-style-type: none"> • OZE: 98 940 GWh • atomowa: 24 067 GWh • termalna (węgiel, ropa, gaz, CCGT plants): 127 332 GWh
Emisje do atmosfery	
<p>Bezpośrednie emisje gazów cieplarnianych (zakres 1): 2,67 mln MgCO_{2eq} Pośrednie emisje gazów cieplarnianych (zakres 2): 1,24 mln MgCO_{2eq} Liczba przyznaných nieodpłatnych uprawnień do emisji CO₂: 666 542 tony CO₂ (wskazano te uprawnienia, które są zgodne z pulą przyznaných darmowych uprawnień do emisji CO₂ (dla produkcji energii elektrycznej i ciepła) zgodnie z Krajowym Planem Rozdziału Uprawnień</p>	<p>Bezpośrednie emisje gazów cieplarnianych (zakres 1): 95,23 mln ton CO_{2eq} Pośrednie emisje gazów cieplarnianych (zakres 2): 5,08 mln ton CO_{2eq} Pośrednie emisje gazów cieplarnianych (zakres 3): 59,56 mln ton CO_{2eq} Emisje uniknięte: 78,5 mln ton CO_{2eq}</p>

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportów zintegrowanych.

Poprzez uwzględnianie w obliczeniach emisji związanych z wytworzeniem zużytych materiałów i produktów (zakres 2 i 3) następuje dość wyraźne powiązanie

GOZ z działaniami na rzecz ochrony klimatu. Identyfikacja wpływów na środowisko w łańcuchu wartości jest podstawą polityki klimatycznej, niestety wciąż nie do końca zrozumianej przez wiele podmiotów. Holistyczne ujęcie jest również odzwierciedlone w pozostałych proponowanych lub stosowanych instrumentach polityki środowiskowej KE. Na szczególną uwagę zasługuje propozycja wdrożenia jednolitego rynku produktów ekologicznych i znakowania ich wpływu na środowisko, zaproponowana w Komunikacie KE w 2013 r. (Komisja Europejska, 2013). W trwającej w latach 2013–2018 fazie pilotażowej, wykorzystując metodykę LCA, opracowano wytyczne do liczenia śladu środowiskowego produktu (PEF) oraz śladu środowiskowego organizacji (OFE). Była ona prowadzona dla 25 zróżnicowanych produktów (pasze, baterie i akumulatory, makarony, woda butelkowana, produkty mleczne, karma dla zwierząt, termoizolacje, skóra, wino, farby dekoracyjne, ogniwa fotowoltaiczne, piwo, oliwa z oliwek, IT, UPS, detergenty, płyty metalowe, rury – ciepła i zimna woda, półprodukty z papieru, podkoszulki, obuwie, materiały biurowe, kawa, ryby morskie, mięso) oraz 2 organizacji, tj. produkcji miedzi i handlu (B2B i B2C). Decyzji o jej wprowadzeniu lub konieczności dokonania zmian można się spodziewać w najbliższym czasie. Jest to istotne, gdyż na świecie obecnie stosowane jest prawie 500 (Ecolabel) różnych znaków środowiskowych, śladu węglowego, GOZ czy *fair trade*. Prawdopodobne jest, iż znak środowiskowy będzie podobny do znaku klasy energetycznej produktów.

3. Ocena wpływu zużycia surowców naturalnych na zmiany klimatu

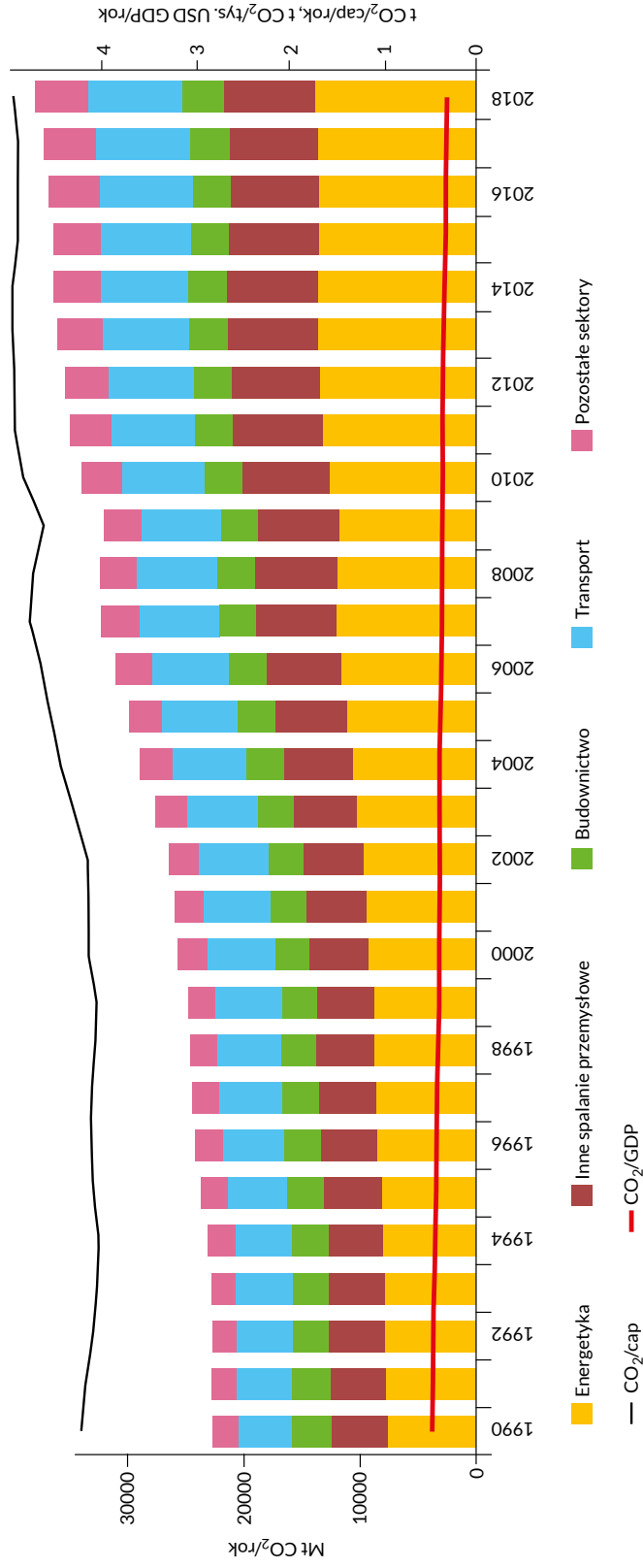
Wpływ zużycia surowców na emisję CO₂ w cyklu życia jest analizowany i mierzony, a wyniki są publikowane m.in. przez UNEP Resource Panel. Obliczono, że 23% emisji gazów cieplarnianych na świecie powstaje podczas procesu wydobywania i przetwarzania surowców naturalnych (UNEP, 2020a). Szczegółowe analizy przeprowadzone dla Polski wskazują, iż udział ten wynosi około 30% (UNEP, 2020). W związku z tym efektywna gospodarka surowcami może się przyczynić nie tylko do redukcji materiałochłonności, lecz także do emisji gazów cieplarnianych. Istotna jest znajomość, monitorowanie i analiza emisji gazów cieplarnianych dla poszczególnych krajów lub sektorów. Bazy danych i raporty przygotowywane są przez: Ramową Konwencję Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (UNFCCC), Eurostat, Europejską Agencję Środowiska i Wspólnotowe Centrum Badawcze (JRC), gdzie funkcjonuje Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), służąca również do modelowania emisji ze źródeł antropogenicznych. Z ostatniego raportu pt. *Fossil CO₂ and GHG emissions of all world countries (2019)* (Crippa et al., 2019) wynika, iż w 2018 r. w porównaniu do 1990 r. nastąpił wzrost emisji CO₂ i pozostałych gazów cieplarnianych o około 3,5% w Chinach i Indiach, wzrost 4–5% w Japonii i USA, natomiast w strefie UE i Rosji miał miejsce ponad 20% spadek, osiągnięty dzięki redukcji w energetyce (odpowiednio 30% CO₂ i 24% GHG), przemyśle (40% i 39%), budownictwie (24% i 26%) i innej działalności (20% i 25%), natomiast

odnotowano wzrost emisji w transporcie (21% i 16%). Istotne jest, że w analizowanym okresie w UE spadek emisji gazów cieplarnianych wystąpił przy utrzymującym się wzroście gospodarczym na poziomie 61%. W 2018 r. w porównaniu do 1990 r. Chiny, USA, Indie, kraje EU-28, Rosja i Japonia zużyły łącznie 80% paliw kopalnych, emitując z nich 67,5% CO₂, reprezentując 51% światowej populacji i 65% wartości PKB. Procentowy udział emisji gazów cieplarnianych z wybranych krajów w światowej emisji gazów cieplarnianych pochodzących ze źródeł antropogenicznych w 2018 r. zaprezentowano w tabeli 2, a udział sektorów – na rysunku 1.

Tab. 2. Kraje emitujące największe ilości CO₂ ze źródeł antropogenicznych i ich procentowy udział w światowej emisji w 2018 r.

Kraj	Udział %
Chiny	29,7%
USA	13,9%
EU-28	9,1%
Indie	6,9%
Rosja	4,6%
Japonia	3,2%
Iran	1,9%
Korea Południowa	1,8%
Arabia Saudyjska	1,6%
Kanada	1,6%
Indonezja	1,5%
Brazylia	1,3%
Meksyk	1,3%
Południowa Afryka	1,3%
Turcja	1,1%
Australia	1,1%

Źródło: Crippa, M. et. al. (2019). *Fossil CO₂ and GHG emissions of all world countries*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Pozyskano z: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/fossil-co2-and-ghg-emissions-all-world-countries-0>



Rys. 1. Emisje dwutlenku węgla z paliw kopalnych według sektorów

Źródło: Crippa, M. et al. (2019). *Fossil CO₂ and GHG emissions of all world countries*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Pozyskano z: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/fossil-co2-and-ghg-emissions-all-world-countries-0>

Podsumowanie

Mimo iż kraje UE emitują mniej niż 10% światowych emisji z paliw kopalnych, to jednak, jak wskazano w najnowszych dokumentach UE, przy utrzymaniu obecnej polityki ograniczą one emisję gazów cieplarnianych do 2050 r. tylko o 60%. Zgodnie z wymogami określonymi w porozumieniu paryskim będzie to zbyt mało. Potrzebne są zatem nowe kolejne działania i strategie zmierzające do wprowadzenia skutecznych rozwiązań w związku z wdrażaniem Zielonego Ładu i GOZ. Budowanie strategii GOZ na poziomie makro i mikro wymaga wdrażania zmian systemowych od etapu projektowania do etapu zagospodarowania odpadów, o ile takie powstaną, z wykorzystaniem lokalnych źródeł dostaw i rozwiązań dążących do zminimalizowania zapotrzebowania na surowce i energię. Potwierdzają to próby certyfikowania GOZ, np. przy zastosowaniu certyfikatu Cradle to Cradle Certified™, który obejmuje pięć kategorii, tj. „zdrowie” używanych materiałów, ponowne wykorzystanie materiałów, zarządzanie energią odnawialną i „węglem”, gospodarowanie wodą oraz sprawiedliwość społeczną. Produkt oceniany jest w każdej z pięciu kategorii i może osiągnąć status podstawowy, brązowy, srebrny, złoty lub platynowy (C2C, 2020).

Proponowane przez KE zasady monitorowania i wskaźniki GOZ nie obejmują bezpośrednio gazów cieplarnianych, jednak wdrożenie większości propozycji i modeli biznesowych GOZ w znacznym stopniu przyczyni się również do ograniczenia emisji GHG w łańcuchu wartości produktów.

Można sądzić, że również w Polsce GOZ będzie wspomagał i przyspieszał ograniczenia emisji GHG, zwłaszcza w obszarach wskazanych w przyjętej w II połowie 2019 r. przez Radę Ministrów *Mapie drogowej transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym* (Ministerstwo Przedsiębiorczości i Technologii, 2019), tj.:

- zrównoważonej produkcji przemysłowej,
- zrównoważonej konsumpcji,
- biogospodarki,
- nowych modeli biznesowych.

Ponadto innowacje technologiczne i produktowe, a także nowe rozwiązania systemowe, legislacyjne, organizacyjne czy programy edukacyjne związane z GOZ, będą wspierane w ramach funduszy strukturalnych na preferencyjnych warunkach, gdyż od stycznia 2019 r. *Gospodarka o Obiegu Zamkniętym* (KIS GOZ) – woda, surowce kopalne, odpady jest jedną z Krajowych Inteligentnych Specjalizacji w Polsce. W efekcie można się spodziewać wielu korzyści z połączenia działań w obszarach zmian klimatu i GOZ, np.:

- zwiększenia zysków podmiotów gospodarczych działających na rzecz środowiska poprzez poszukiwanie rozwiązań „win-win”,
- identyfikacji i analizy wielkości emisji GHG i tzw. *hot spots* w łańcuchu wartości w poszczególnych sektorach czy podmiotach gospodarczych,
- skrócenia łańcuchów dostaw i lepszego wykorzystania IT w zarządzaniu gospodarką materiałami, w tym zwiększenia lokalnych dostaw, ograniczenia transportu, zmniejszenia ilości odpadów,

- ekoprojektowania i wzrostu popytu na produkty przyjazne dla środowiska,
- efektywnego wykorzystania istniejącej infrastruktury, m.in. wynajmu, współdzielenia,
- ekoznakowania i certyfikacji – zwiększenia transparentności w zamówieniach publicznych, rozliczenia B2B i B2C,
- łatwiejszego dostępu do rynków zbytu, szczególnie w krajach UE i G7,
- ograniczenia ryzyka legislacyjnego.

Wdrażanie reform w kierunku niskoemisyjnej GOZ wymagać będzie nie tylko zmiany w strukturze wytwarzania energii, lecz także w strukturze całej gospodarki i zatrudnienia. W *Krajowym planie na rzecz energii i klimatu na lata 2021–2030* (Ministerstwo Aktywów Państwowych, 2019), założono, iż nastąpi redukcja do 56–60% udziału węgla w produkcji energii elektrycznej. Jednak, aby mieć pewność, że zmiany te są skuteczne, konieczne jest uzyskanie dla nich społecznego poparcia. Istotne jest również, aby koszty ograniczania emisji nie były ponoszone tylko przez pojedyncze grupy społeczne czy regiony. Sprawiedliwa i solidarna transformacja była przedmiotem obrad podczas szczytu COP24 w Katowicach i z inicjatyw Polski podpisano *Deklarację Śląską na rzecz sprawiedliwości i sprawiedliwej transformacji*. Mechanizm sprawiedliwej transformacji jest też istotnym narzędziem w planie inwestycyjnym na rzecz Europejskiego Zielonego Ładu, w którym zaplanowano uruchomienie w latach 2021–2027 funduszu o wysokości co najmniej 100 mld EUR na transformację w regionach (tzw. Fundusz na Rzecz Sprawiedliwej Transformacji), których funkcjonowanie zależy od łańcucha wartości paliw kopalnych. Dotyczy to również wszystkich 41 regionów górniczych zidentyfikowanych w 12 krajach UE (w tym w UK), gdzie sektor węglowy zapewnia ok. 240 tys. bezpośrednich miejsc pracy w kopalniach i w elektrowniach węglowych oraz ok. 215 tys. pośrednich miejsc pracy.

Publikacja realizowana w ramach projektu współfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (strategiczny program badań naukowych i prac rozwojowych „Społeczny i gospodarczy rozwój Polski w warunkach globalizujących się rynków” GOSPOSTRATEG) pt. Opracowanie systemu wskaźników pomiarowych, umożliwiających ocenę postępu w transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym oraz wpływu gospodarki o obiegu zamkniętym na rozwój społeczno-gospodarczy na poziomie mezoekonomicznym (regionów) i makroekonomicznym (gospodarki narodowej) Akronim: oto-GOZ.

Bibliografia

- Bureau Veritas. (2019). *Ślad węglowy*. Pozyskano z: <https://kampania17celow.pl/wp-content/uploads/2019/05/Ślad-węglowy-Bureau-Veritas-Forum-Inspiracji-2019.pdf>
- C2C. (2020). *What is Cradle to Cradle Certified™*. Pozyskano z: <https://www.c2ccertified.org/get-certified/product-certification>
- Cichy, J. (2015). *Ekoinnowacyjność przedsiębiorstw czystej produkcji w Polsce*. Politechnika Śląska. Gliwice.
- Crippa, M., Oreggioni, G., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Lo Vullo, E., Solazzo, E., Monforti-Ferrario, F., Olivier, J. and Vignati, E. (2019). *Fossil CO₂ and GHG emissions of all world countries*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Pozyskano z: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/fossil-co2-and-ghg-emissions-all-world-countries-0>
- Czaja, S., Becla A. (2007). *Ekologiczne podstawy procesów gospodarowania*. AE Wrocław.
- Dygas, P. (2020). *GOZ w branży energetycznej* (materiały wewnętrzne IGSMiE PAN). Kraków.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 140/16.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 307/1.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/904 z dnia 5 czerwca 2019 r. w sprawie zmniejszenia wpływu niektórych produktów z tworzyw sztucznych na środowisko. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 155/1.
- Ecolabel. Pozyskano z: <http://www.ecolabelindex.com/ecolabels/>
- EU levels. Pozyskano z: <https://ec.europa.eu/environment/eussd/buildings.htm>
- Fiedor, B., Graczyk, A., Jakubczyk, Z. (2002). *Podstawy ekonomii środowiska i zasobów naturalnych*, Warszawa: C.H. Beck.
- Foltynowicz, Z. (2011). Ekologia przemysłowa we wdrażaniu zrównoważonego rozwoju. *Zeszyty Naukowe. Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu*, 199.
- Freeman A. M. (2003). *The measurement of environmental and resource values: Theory and methods* (2nd ed.). Washington.
- Global Climate Change Analysis. (2018). Pozyskano z: <https://www.cdp.net/en/research/global-reports/global-climate-change-report-2018>
- ISO. (2018). *Gazy cieplarniane – Ślad węglowy wyrobów – Wymagania i wytyczne dotyczące kwantyfikacji*. 14067:2018-10.
- ISO. (2019). *Gazy cieplarniane – Część 1: Specyfikacja i wytyczne kwantyfikowania oraz raportowania emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych na poziomie organizacji*. 14064-1:2019-04.
- Komisja Europejska. (2013). *Tworzenie jednolitego rynku dla produktów ekologicznych Poprawa sposobu informowania o efektywności środowiskowej produktów i organizacji*. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego i Rady. COM(2013) 196 final. Bruksela: Komisja Europejska. Pozyskano z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?qid=1597574514275&uri=CELEX:52013DC0196>

- Komisja Europejska. (2015). *Zamknięcie obiegu – plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym*. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. COM(2015) 614 final. Bruksela: Komisja Europejska.
- Komisja Europejska. (2019). *Europejski Zielony Ład*. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. COM(2019) 640 final. Bruksela: Komisja Europejska. Pozyskano z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640&from=DE>
- Komisja Europejska. (2020). *Nowy plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym na rzecz czystej i bardziej konkurencyjnej Europy*. Komunikat do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów COM(2020) 98 final. Pozyskano z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?qid=1598767073267&uri=CELEX:52020DC0098>
- Kowalski, Z., Kulczycka, J. (2004). Cleaner production as a basic element for the sustainable development strategy. *Polish Journal of Chemical Technology*, 6 (4).
- Kulczycka, J. (2011). *Ekoefektywność projektów inwestycyjnych z wykorzystaniem koncepcji oceny cyklu życia*. Kraków: IGSMiE PAN.
- Kulczycka, J., Pędziwiatr, E. (2019). Gospodarka o obiegu zamkniętym – definicje i ich interpretacje. W: J. Kulczycka (red.), *Gospodarka o obiegu zamkniętym w polityce i badaniach naukowych* (s. 1–218). Kraków: IGSMiE PAN. Pozyskano z: <http://konferencja-pan.pl/do-pobrania-3/>
- Kulczycka, J., Wernicka, M. (2015). Metody i wyniki obliczania śladu węglowego działalności podmiotów branży energetycznej i wydobywczej. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi Polskiej Akademii Nauk*, 89.
- Lewandowska, A. (2012). Ślad węglowy czy LCA? *Ecomanager*, 4. Pozyskano z: <http://ecomanager.pl/slاد-weglowy-czy-lca>
- Ministerstwo Aktywów Państwowych. (2019). *Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021–2030*. Pozyskano z: <https://www.gov.pl/web/aktywa-panstwowe/krajowy-plan-na-rzecz-energii-i-klimatu-na-lata-2021-2030-przekazany-do-ke>
- Ministerstwo Przedsiębiorczości i Technologii. (2019). *Mapa drogowa transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym*. Pozyskano z: <https://www.gov.pl/web/rozwoj/gospodarka-o-obiegu-zamknietym>
- OECD. (2011). *Towards green growth. A summary for policymakers*. Paris. Pozyskano z <http://www.oecd.org/greengrowth/48012345.pdf>
- Pearce, D. W., Turner, R. K. (1989). *Economics of Natural Resources and the Environment*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Poskrobko, B. (1998). *Zarządzanie środowiskiem*. Warszawa: PWE.
- United Nations Environment Programme. (2020a). *Resource efficiency and climate change. Material efficiency strategies for a low-carbon*. Pozyskano z: <https://resourcepanel.org/reports/resource-efficiency-and-climate-change>
- United Nations Environment Programme. (2020b). *Natural resource use in the Group of 20*. Pozyskano z: <https://www.resourcepanel.org/reports/natural-resource-use-group-20>

Streszczenie

W ciągu ostatnich kilku lat gospodarka o obiegu zamkniętym jest jednym z priorytetów polityki gospodarczej Komisji Europejskiej i wielu krajów członkowskich, w tym Polski. Jest ściśle związana z realizacją celów zrównoważonego rozwoju i może znacząco ograniczyć negatywne zmiany klimatu. Wymaga to jednak wdrożenia nowych modeli biznesowych i metod oceny działań podmiotów uwzględniających wpływ na środowiskowo w całym cyklu życia produktu lub organizacji. W rozdziale omówiono modele biznesowe, metody i narzędzia proponowane do realizacji celów gospodarki o obiegu zamkniętym i ich wpływ na zmiany klimatu. Wykazano, iż te rekomendowane w politykach i strategiach UE, np. ślad środowiskowy, EMAS, zielone zamówienia publiczne, ekoznakowanie, umożliwiają kompleksową ocenę w cyklu życia i mogą być podstawą do podejmowania decyzji i poszukiwania skutecznych rozwiązań ograniczających zmiany klimatu. Niestety ich udział w rynku jest wciąż relatywnie niski, szczególnie w Polsce.

Słowa kluczowe: gospodarka o obiegu zamkniętym, ocena cyklu życia, zmiany klimatu.

CIRCULAR ECONOMY FOR CLIMAT CHANGE

SUMMARY

Over the last few years, circular economy has been one of the priorities of the economic policy of the European Commission and many Member States, including Poland. It is closely related to the implementation of sustainable development aims, and can significantly limit negative climate changes. However, it requires the implementation of new business models and methods of assessing the activities of entities taking into account the environmental impact throughout the life cycle of a product or organisation. This chapter discusses the business models, methods and tools proposed for achieving circular economy objectives and their impact on climate change. It shows that those recommended in EU policies and strategies, e.g. the environmental footprint, EMAS, green public procurement, eco-labelling, enable a comprehensive life-cycle assessment and can be the basis for making decisions and seeking effective solutions to reduce climate change. Unfortunately, their market share is still relatively low, especially in Poland.

Keywords: circular economy, life cycle assessment, climate change.

JEL: Q54, Q53, Q48, P48



Michał Drewniak

Dr inż. Michał Drewniak jest absolwentem Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej. Od 2015 r. asystent naukowy na Wydziale Inżynierii Uniwersytetu w Cambridge w grupach badawczych „The Use Less Group” oraz „Resource Efficiency Collective”. Prowadzi działalność badawczą w zakresie minimalizacji energochłonności i śladu węglowego w sektorze budownictwa, ze szczególnym uwzględnieniem efektywnego wykorzystania materiałów konstrukcyjnych. Czynnie uczestniczy w międzynarodowych pracach w tym obszarze.

Wydział Inżynierii, Uniwersytet w Cambridge, Trumpington Street, Cambridge, CB2 1PZ

email: mpd43@cam.ac.uk

<https://orcid.org/0000-0003-1491-3401>

Redukcja energochłonności w budownictwie

Wstęp

Sektor budowlany jest uważany za najbardziej dynamicznie rozwijający się ze wszystkich sektorów gospodarki. Jednocześnie eksploatacja budynków (ogrzewanie, chłodzenie, oświetlenie, gotowanie) pochłania 30% globalnego zużycia energii, co przekłada się na 28% emisji CO₂. Wysokoenergetycznym materiałem znajdującym zastosowanie w budownictwie jest beton, w skład którego wchodzi cement, i stal. Produkcja stali i cementu stosowanych w budynkach odpowiedzialna jest odpowiednio za 4 i 3% globalnych emisji CO₂. Biorąc pod uwagę materiały znajdujące zastosowanie w budownictwie, procesy budowy oraz eksploatację, budynki odpowiedzialne są za 39% globalnych emisji CO₂ i 36% globalnego zużycia energii. W krajach europejskich 58% budynków mieszkalnych i ponad 66% budynków komercyjnych wykorzystuje beton jako główny materiał konstrukcyjny. W krajach europejskich powierzchnia budynków wzrośnie o 15% i 37% odpowiednio w latach 2030 i 2060 w porównaniu z 2015 r. Ponad połowa szacowanego przyrostu powierzchni budynków do 2030 r. będzie powierzchniami mieszkalnymi (55%, 7,1 mld m²), natomiast 45% – powierzchniami komercyjnymi (5,9 mld m²) (IEA, 2017).

W krajach europejskich aż 41% zużycia energii pochodzi z gospodarstw domowych i budynków związanych z usługami komercyjnymi i publicznymi. Szacuje się, że te sektory odpowiedzialne są za około 36% emisji CO₂, a ponad jedna trzecia energii (34%) dla tych sektorów pochodzi ze spalania gazu ziemnego, jedna trzecia (32%) to energia elektryczna, 14% pochodzi z OZE i biopaliw, 11% – ze spalania olejów i produktów naftowych, 7% pozyskiwanych jest z ciepłowni lub elektrociepłowni, natomiast reszta (2%) – z paliw stałych i innych (EC, EEA, 2019; Eurostat, 2019, 2020c).

W sektorze budowlanym redukcja energochłonności i emisyjności jest kluczowym aspektem dążenia do neutralności klimatycznej i należy ją rozpatrywać w dwóch aspektach: operacyjnym, związanym z ogrzewaniem, chłodzeniem, gotowaniem, oświetleniem, używaniem w budynkach urządzeń, oraz śladu węglowego materiałów i procesów budowy. W pierwszym przypadku energochłonność można znacznie zredukować poprzez poprawę termoizolacyjności przegród budowlanych, ze szczególnym uwzględnieniem aktualnych zmian klimatycznych. Pozwoliłoby to na redukcję energochłonności związanej z ogrzewaniem (obecnie 64% energochłonności dla gospodarstw domowych). Redukcja emisyjności budynków byłaby możliwa poprzez zamianę wszystkich urządzeń wykorzystujących paliwa stałe, płynne lub gazowe na urządzenia elektryczne. Korzyści z tego osiągnie się

jednak tylko wtedy, gdy energia elektryczna będzie wytwarzana ze źródeł niskoemisyjnych. W przypadku minimalizacji śladu węglowego największe korzyści przyniesie: zwiększenie efektywności materiałowej (redukcja ilości stosowanego materiału), ponowne wykorzystanie materiałów, maksymalne wydłużenie użytkowania budynków i ich elementów, stosowanie materiałów niskoenergetycznych/niskoemisyjnych. W przypadku użycia stali faworyzowane powinny być ponowne jej użycie (*reuse*), a także wykorzystanie stali pochodzącej z recyklingu (wytwarzanych w elektrycznych piecach łukowych, zasilanych niskoemisyjną energią elektryczną). W krajach europejskich 58% budynków mieszkalnych i ponad 66% budynków komercyjnych wykorzystuje beton jako główny materiał konstrukcyjny. Ponieważ najbardziej energochłonnym i wysokoemisyjnym składnikiem betonu jest cement, w celu zmniejszenia energochłonności i emisyjności należy zintensyfikować substitucję cementu innymi materiałami, które są ubocznymi produktami spalania lub produkcji stali, a w przypadku ich braku (co w niedalekiej przyszłości będzie następstwem dekarbonizacji sektora energetycznego) – kolejnymi substitutami, np. gliną kalcynowaną lub mieloną skałą wapienną. Minimalizacja śladu węglowego budynków może być również uzyskana za pomocą stosowania także innych, niskoemisyjnych materiałów.

Powyższe rozwiązania uwzględniają ogólnie dostępne i powszechnie wykorzystywane technologie. W ostatnich latach opracowano i sprawdzono nowe, niskoemisyjne technologie produkcji materiałów i pozyskiwania energii. W ich skład wchodzi: wykorzystywanie wodoru, zarówno do produkcji wysokoemisyjnych materiałów (np. stali), jak i do zastosowania w budownictwie (ogrzewania, gotowania), a także odzysk ciepła w instalacjach produkcyjnych oraz magazynowanie energii cieplnej, która może być wykorzystana do produkcji energii elektrycznej.

W przedstawionej pracy zostały wskazane rozwiązania, które mogłyby mieć zastosowanie w krajach europejskich w celu redukcji energochłonności i emisyjności sektora budowlanego, zakładając wykorzystanie dostępnych technologii. Przedstawiono również opcje możliwe do wykorzystania w niedalekiej przyszłości. W większości przypadków można znaleźć ograniczenia dla wprowadzenia innowacyjnych rozwiązań, których źródła leżą w obszarach społecznym i ekonomicznym, a nie w braku dostępności do nowych technologii.

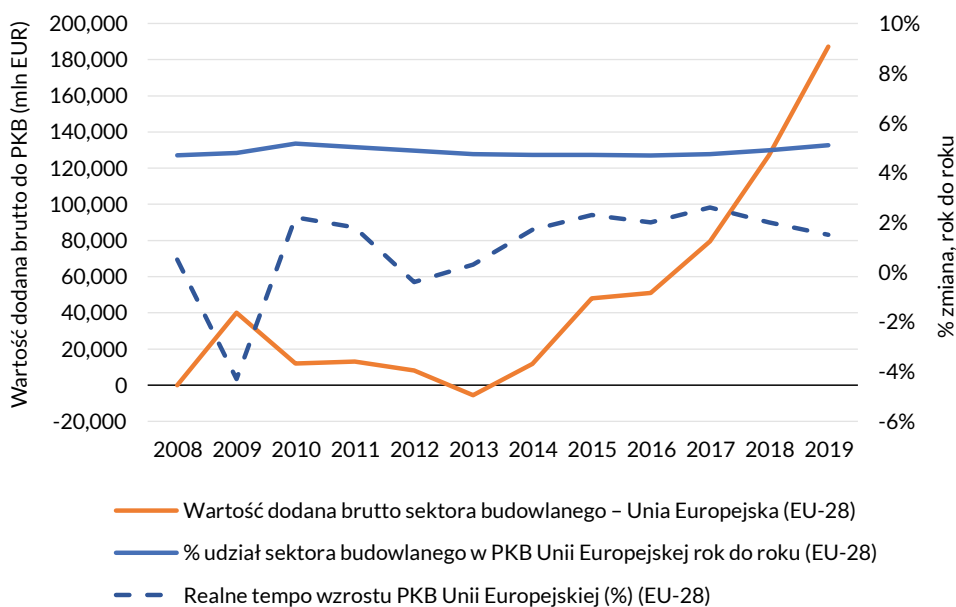
1. Globalny i europejski rynek budowlany

1.1. Wartość rynku budowlanego

Wartość globalnego rynku budowlanego w 2015 r. wynosiła 8 350 mld USD i szacuje się, że wzrośnie o 85% w 2030 r., do poziomu 15 500 mld USD (GCP, OE, 2015). Procentowy udział sektora budowlanego w globalnym PKB w 2014 r. wynosił 12,4%, natomiast w 2030 r. według szacunków wzrośnie do 14,7% (GCP, OE, 2015). Chiny, USA i Indie będą miały łącznie 57% udziału we wzroście wartości rynku budowlanego. Do 2030 r. szacowany roczny wzrost ma wynosić 3,9%, tym samym sektor budowlany uznawany jest za jedną z najbardziej dynamicznie rozwijających się ga-

łęzi przemysłu (GCP, OE, 2015). W 2018 r. wzrost okazał się jednak dużo większy, niż zakładano pierwotnie, i osiągnął 11 400 mld USD. W skorygowanej prognozie, która została przygotowana przed pandemią COVID-19, przyjęto, że wartość rynku globalnego w 2025 r. osiągnie 15 000 mld USD (Deloitte, 2019). Wyróżniającym się rynkiem wzrostu cechuje się Wielka Brytania, wyprzedzając Niemcy i według prognoz do 2030 r. zostanie największym w Europie i szóstym co do wielkości na świecie rynkiem budowlanym (GCP, OE, 2015).

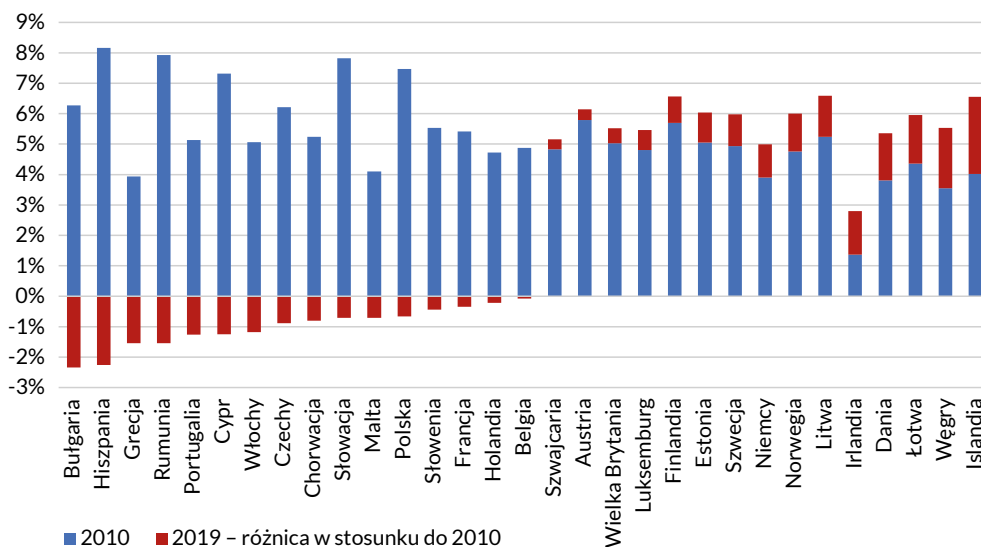
W Unii Europejskiej w minionych 12 latach realne tempo zmian PKB wahało się pomiędzy 4,3% a 2,6%, z czego najniższy wskaźnik wystąpił w 2009 r. Od 2015 r. pozostawał on na poziomie około 2%, a najwyższe tempo wzrostu, na poziomie 2,7%, zanotowano w 2017 r. (Eurostat, 2020a) (Rys. 1). W ostatniej dekadzie procentowy udział sektora budowlanego w PKB UE był na stałym poziomie wynoszącym 5,0% ± 0,3%. Wartość dodana brutto rynku budowlanego w latach 2013–2019 wyniosła 192,5 mln EUR (Eurostat, 2020b) (Rys. 1).



Rys. 1. Realne tempo wzrost PKB w Unii Europejskiej (Eurostat, 2020a), % udział sektora budowlanego w PKB UE i wartość dodana brutto rynku budowlanego

Źródło: Eurostat. (2020b). Gross value added at current basic prices, 2009 and 2019 (% share of total gross value added). Pozyskano z: <https://bit.ly/2JS26iF>

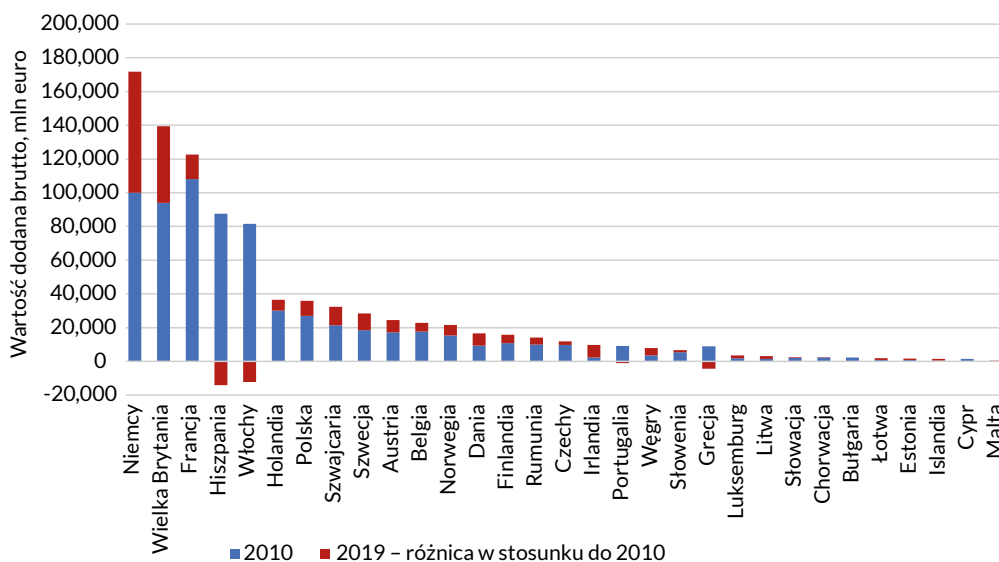
Udział rynku budowlanego w PKB poszczególnych krajów na przestrzeni ostatniej dekady kształtował się na różnym poziomie. W 2019 r. największy udział miała Słowacja (7,1%) tuż przed Polską (6,8%). Największy spadek udziału sektora budowlanego w PKB na przestrzeni 2010–2019 odnotowała Bułgaria, z 6,3% do 3,9%, oraz Hiszpania, z 8,2% do 5,9%. Największy wzrost zanotowały: Islandia z 4,0% do 6,6% oraz Węgry z 3,3% do 5,5% (Eurostat, 2020a; 2020b) (Rys. 2).



Rys. 2. Udział rynku budowlanego w PKB dla różnych krajów europejskich

Źródło: Eurostat. (2020a). Gross domestic product at market prices. Pozyskano z: <https://bit.ly/3aUjKP0>; Eurostat. (2020b). Gross value added at current basic prices, 2009 and 2019 (% share of total gross value added). Pozyskano z: <https://bit.ly/2JS26iF>

W 2019 r. w Niemczech, Wielkiej Brytanii i Francji zanotowano wśród krajów europejskich najwyższą wartość dodaną brutto w sektorze budowlanym, odpowiednio 171 732, 139 437 oraz 122 605 mln EUR (Rys. 3) (Eurostat, 2020b).



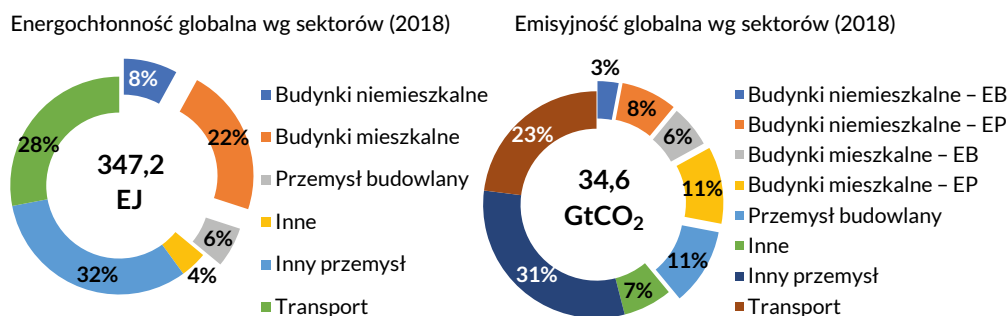
Rys. 3. Sektor budowlany – wartość dodana brutto krajów europejskich

Źródło: Eurostat. (2020b). Gross value added at current basic prices, 2009 and 2019 (% share of total gross value added). Pozyskano z: <https://bit.ly/2JS26iF>

1.2. Energochłonność i emisyjność rynku budowlanego – globalnego i europejskiego

Energochłonność i emisyjność globalnego rynku budowlanego

Energochłonność i emisyjność sektora budowlanego wzrasta z roku na rok. W 2018 r., w porównaniu do 2017 r., wzrost określono na poziomie 2% i 1%, odpowiednio dla dwutlenku węgla i finalnej energii. W 2018 r. w wartościach bezwzględnych osiągnięto poziom emisji 13,5 gigaton CO₂ i zużycia 128 exadzuli (EJ) energii. Powoduje to, że sektor budowlany odpowiedzialny jest za 36% globalnego zużycia energii i 39% globalnych emisji CO₂ (GABC, IEA, 2019). Budynki odpowiedzialne są za 30% globalnego zużycia energii podczas eksploatacji, co przekłada się na 28% emisji CO₂ (GABC, IEA, 2018), nie wliczając procesu produkcji materiałów i ich wznoszenia (Rys. 4).

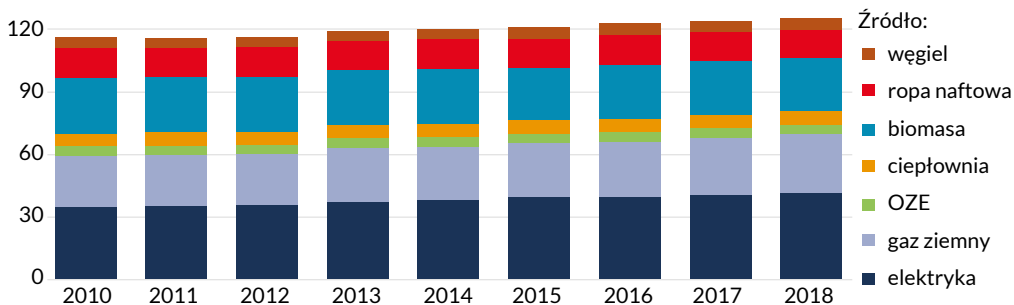


Rys. 4. Globalna energochłonność i emisyjność w 2018 r. (GABC, IEA, 2019) (EB – emisje bezpośrednie, EP – emisje pośrednie), szacowana przez IEA emisyjność w 2018 wynosi 33,1 Gt CO₂ (IEA, 2018), w 2016 emisyjność określona była na poziomie 36,7 Gt CO₂ (WRI, 2017)

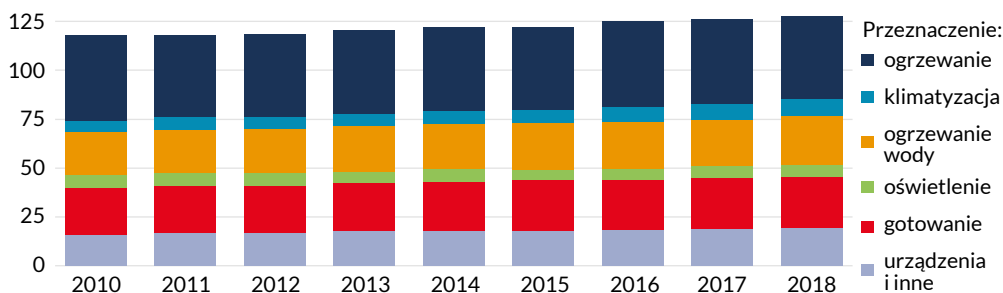
Źródło: GABC, IEA. (2019). *Global Status Report 2019 – Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector*. Global Alliance for Building, Construction and International Energy Agency. Pozyskano z: <http://bit.ly/2Imepmb>; IEA. (2018). *Global Energy & CO₂ Status Report. The latest trends in energy and emissions in 2018*. Pozyskano z: <https://www.iea.org/geco>; WRI. (2017). *World Greenhouse Gas Emissions: 2016*. World Resources Institute. Pozyskano z: <http://bit.ly/3dJ39ij>

W 2018 r. 38% globalnej energii elektrycznej pochodziło ze spalania węgla kamiennego, 23% ze spalania gazu ziemnego, 3% ze spalania oleju, 10% z energii nuklearnej. Reszta pochodziła ze źródeł odnawialnych (IEA, 2020). W tym samym roku globalne zużycie energii w budynkach wynosiło 128 EJ (wzrost o ok. 4% w porównaniu z 2010 r.). Było ono związane głównie ze zużyciem energii elektrycznej, spalaniem gazu ziemnego oraz biomasy, w mniejszym stopniu spalaniem oleju opałowego czy energii pochodzącej z elektrociepłowni. Energia ze spalania węgla czy pozyskiwana ze źródeł odnawialnych stanowiła łącznie około 5% (Rys. 5). Jedna trzecia energii była wykorzystywana do ogrzewania pomieszczeń, po około 20% do podgrzewania wody i gotowania. Pozostała część związana była z używaniem urządzeń, chłodzeniem pomieszczeń, oświetleniem (Rys. 6). Wzrost energochłonności związany jest ze wzrostem liczby nowych budynków, a ich budowa ze wzrostem populacji (Rys. 7). Pomimo gwałtownego wzrostu powierzchni budynków energochłonność w przeliczeniu na jednost-

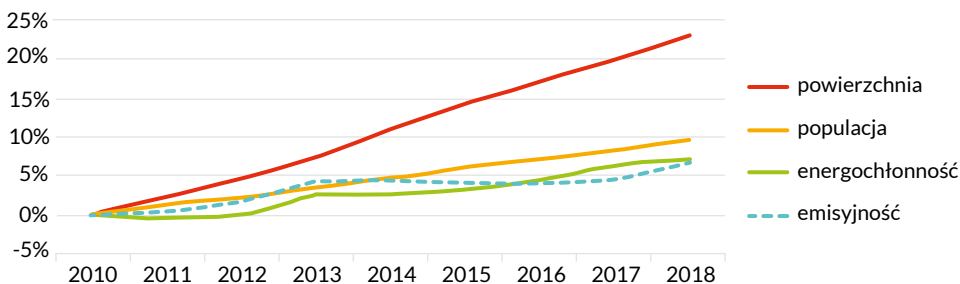
kę powierzchni znacząco spada w przypadku ogrzewania i oświetlenia, w mniejszym stopniu ogrzewania wody i gotowania. Od 2010 r. energochłonność urządzeń utrzymuje się na w miarę stałym poziomie. Jednak gwałtowny wzrost można zauważyć w przypadku energochłonności klimatyzacji, szczególnie od 2014 r. (Rys. 8).



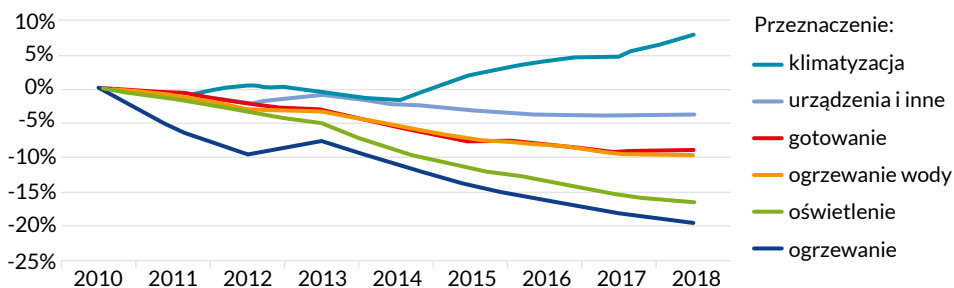
Rys. 5. Zużycie energii w sektorze budownictwa wg źródła (OZE – odnawialne źródła energii)
 Źródło: GABC, IEA. (2019). *Global Status Report 2019 – Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector*. Global Alliance for Building, Construction and International Energy Agency. Pozyskano z: <http://bit.ly/2Imepmb>



Rys. 6. Zużycie energii w sektorze budownictwa wg przeznaczenia
 Źródło: GABC, IEA. (2019). *Global Status Report 2019 – Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector*. Global Alliance for Building, Construction and International Energy Agency. Pozyskano z: <http://bit.ly/2Imepmb>



Rys. 7. Sektor budowlany – zmiana globalnej powierzchni budynków, populacji, energochłonności i emisyjności
 Źródło: GABC, IEA. (2019). *Global Status Report 2019 – Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector*. Global Alliance for Building, Construction and International Energy Agency. Pozyskano z: <http://bit.ly/2Imepmb>

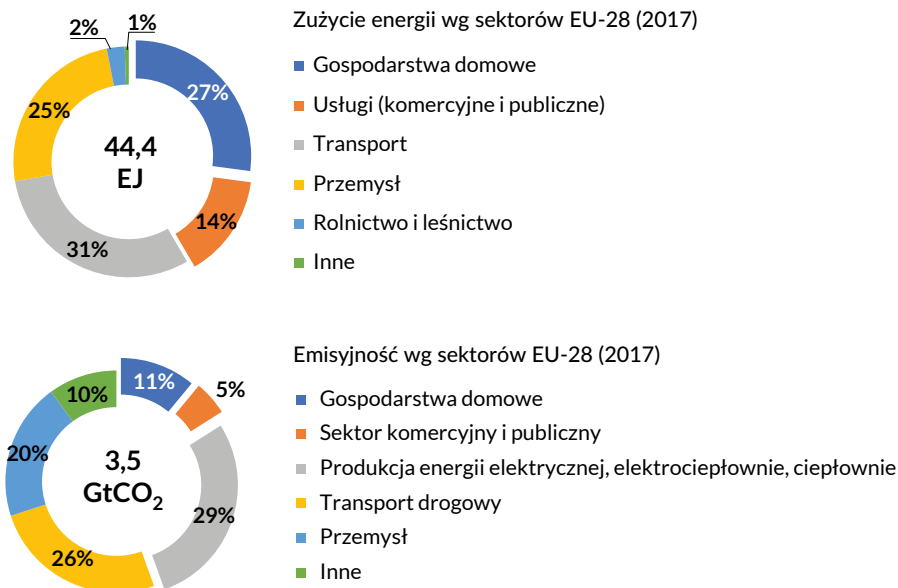


Rys. 8. Zużycie energii w sektorze budownictwa wg przeznaczenia na m² powierzchni

Źródło: GABC, IEA. (2019). *Global Status Report 2019 – Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector*. Global Alliance for Building, Construction and International Energy Agency. Pozyskano z: <http://bit.ly/2Imepmb>

Energochłonność i emisyjność europejskiego rynku budowlanego

W 2017 r. zużycie energii w krajach Unii Europejskiej (EU-28) wyniosło 44,4 EJ (Eurostat, 2019). Ponad 40% dotyczyło gospodarstw domowych (12,0 EJ) oraz usług komercyjnych i publicznych (6,4 EJ) (Rys. 9, górna część).



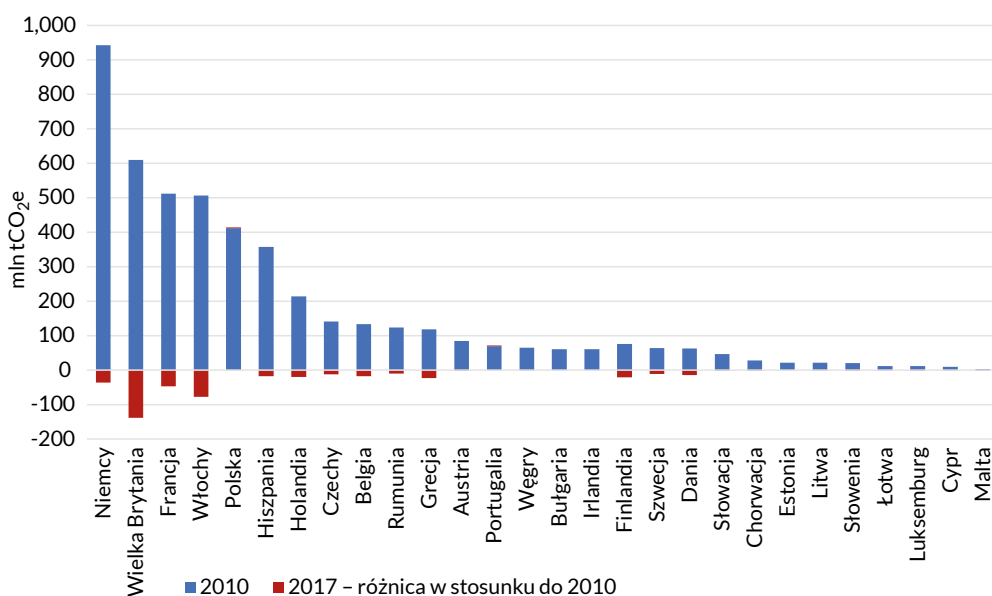
Rys. 9. Zużycie energii (u góry) (Eurostat, 2019) i emisyjność (u dołu) (EC, EEA, 2019) według sektorów

Źródło: Eurostat. (2019). *Energy, transport and environment statistics. Statistical Book*. Pozyskano z: <https://bit.ly/33Pc53s>; EC, EEA. (2019). *Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2017 and inventory report 2019*. EEA/PUBL/2019/051. Pozyskano z: <https://bit.ly/2XIVVoF>

Emisyjność UE-28 w 2017 r. wyniosła 3,5 Gt CO₂ (Rys. 9, część dolna) (EC, EEA, 2019), co przy emisji globalnej wynoszącej 33,1 Gt CO₂ (Eurostat, 2020a) stanowiło 10,5%. Gospodarstwa domowe, sektor komercyjny i publiczny oraz produkcja

energii elektrycznej stanowiły 44% emisji CO₂. W przypadku gospodarstw domowych emisje dotyczą jedynie spalania paliw stałych i płynnych w ich obrębie. Dla sektora komercyjnego i publicznego emisyjność obejmuje wszystkie źródła spalania, które wykorzystywane są do ogrzewania hal produkcyjnych i budynków operacyjnych w instytucjach, obiektach handlowych i usługowych. Brak jest jednak danych dotyczących udziału poszczególnych nośników wtórnych.

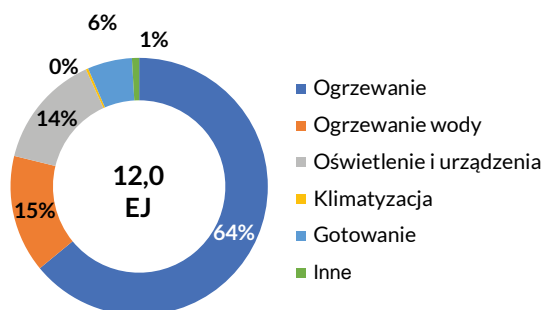
Uwzględniając, oprócz CO₂ inne gazy cieplarniane, tj. m.in. CH₄, N₂O, HFC, emisyjność w jednostkach przeliczeniowych wynosi 4,3 Gt CO_{2e} (EC, EEA, 2019). Krajami europejskimi, które charakteryzują się największą emisyjnością, są Niemcy, Wielka Brytania, Francja i Hiszpania (Rys. 10). W ciągu ostatnich siedmiu lat w Wielkiej Brytanii i Hiszpanii nastąpił największy bezwzględny spadek emisji gazów cieplarnianych.



Rys. 10. Zmiana emisji gazów cieplarnianych państw UE w latach 2010–2017

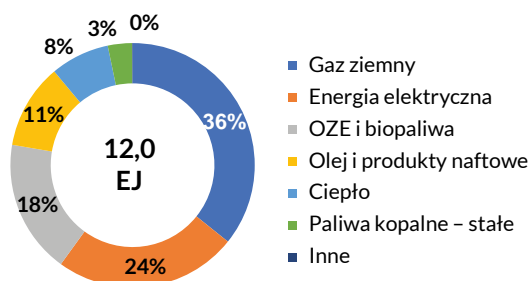
Źródło: EC, EEA. (2019). *Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2017 and inventory report 2019*. EEA/PUBL/2019/051. Pozyskano z: <https://bit.ly/2XIVVoF>

W przypadku gospodarstw domowych 64% energii służyło do ogrzewania pomieszczeń (Rys. 11), z czego 43% pochodziło z gazu ziemnego, 23% ze źródeł odnawialnych oraz 14% z ze spalania olejów i produktów naftowych (Rys. 12 oraz Tab. 1). Odpowiednio 14,8% oraz 14,4% energii służyło do ogrzewania wody i oświetlenia oraz obsługi urządzeń. W przypadku ogrzewania wody 48% energii pozyskiwano z gazu ziemnego oraz 19% z energii elektrycznej (Tab. 1). Cała energia służąca do oświetlenia i obsługi urządzeń pochodziła z energii elektrycznej (Tab. 1). Gotowanie odpowiada za 5,6% całkowitego zużycia energii, której niemal połowa (48%) pochodziła z energii elektrycznej, a 34% z gazu ziemnego (Tab. 1). Zużycie energii do chłodzenia pomieszczeń wynosiło niecałe 0,3% całkowitej energii w sektorze gospodarstw domowych.



Rys. 11. Zużycie energii wg przeznaczenia w gospodarstwach domowych EU-28 (2017)

Źródło: Eurostat. (2020c). Simplified energy balances [nrg_bal_s]. Pozyskano z: <https://bit.ly/3fMNL59>



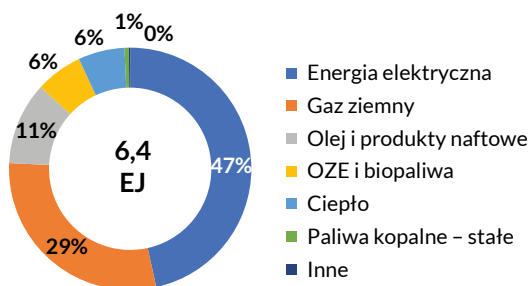
Rys. 12. Zużycie energii dla gospodarstw domowych według źródła energii EU-28 (2017)

Źródło: Eurostat. (2020c). Simplified energy balances [nrg_bal_s]. Pozyskano z: <https://bit.ly/3fMNL59>

Tab. 1. Procentowe zużycie energii dla gospodarstw domowych według źródła i przeznaczenia

Źródła energii	Ogrzewanie	Klimatyzacja	Ogrzewanie wody	Gotowanie	Oświetlenie i urządzenia	Inne	Razem
Energia elektryczna	3,4	0,3	2,8	2,7	14,4	0,7	24,3
Ciepłownia	6,1	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	7,8
Gaz ziemny	27,6	0,0	7,1	1,9	0,0	0,0	36,5
Paliwa stałe	3,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	3,3
Olej i produkty naftowe	9,0	0,0	1,6	0,7	0,0	0,1	11,3
Odnawialne źródła energii i odpady	15,0	0,3	1,5	0,3	0,0	0,1	16,8
Razem:	64,1	0,3	14,8	5,6	14,4	0,9	100%

Źródło: Eurostat. (2019). *Energy, transport and environment statistics. Statistical Book*. Pozyskano z: <https://bit.ly/33Pc53s>



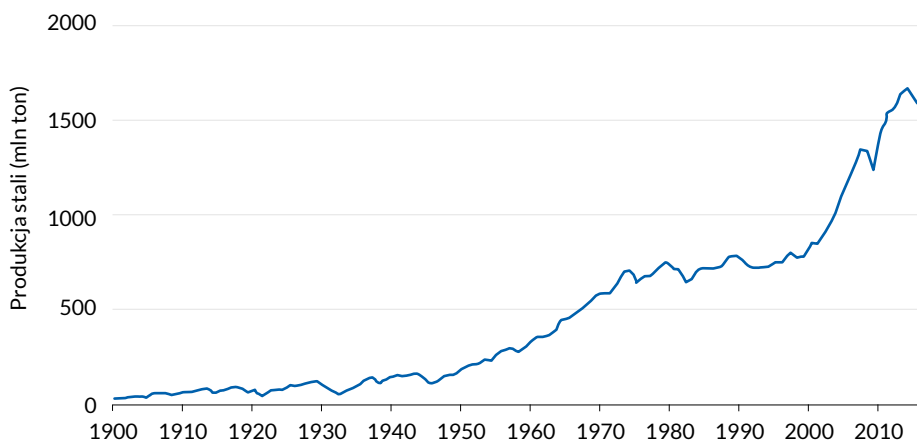
Rys. 13. Zużycie energii w sektorze usług komercyjnych i publicznych

Źródło: Eurostat. (2020c). Simplified energy balances [nrg_bal_s]. Pozyskano z: <https://bit.ly/3fMNLS9>

W przypadku usług komercyjnych i publicznych niemal połowa energii (47%) pochodziła z energii elektrycznej, 29% z gazu ziemnego i 11% ze spalania olejów i produktów naftowych (Rys. 13).

1.3. Materiały używane w budownictwie – globalny i europejski rynek budowlany

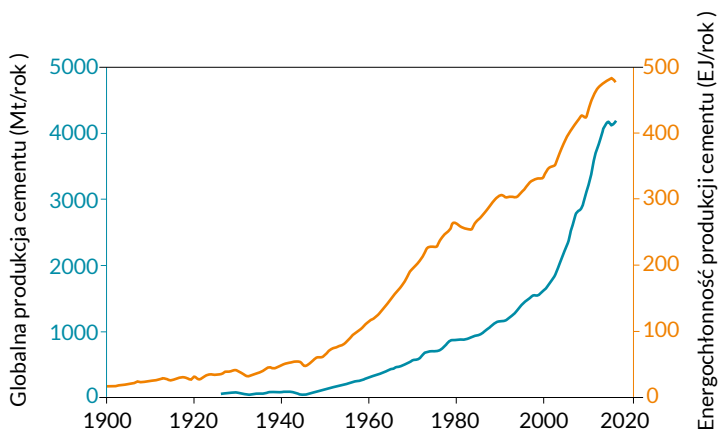
Głównymi i najbardziej energochłonnymi materiałami używanymi w budownictwie jest stal i beton. Wysokoemisyjnym składnikiem betonu jest cement. W 2017 r. produkcja stali i cementu stanowiła 12% globalnego zużycia energii i 13% globalnej emisji CO₂ (IEA, 2019a). W 2019 r. produkcja stali wzrosła w porównaniu do 2018 r. o 3,4% i aż o 120% w porównaniu z 2000 r., do poziomu 1 870 Mt (WorldSteel, 2020) (Rys. 14). Ponad połowa masy wyrobów stalowych (996 Mt) była produkowana z Chinach, a jedynie 8,5% (160 Mt) w Unii Europejskiej (EU-28). Ponad połowa wyrobów stalowych ma zastosowanie w budownictwie (budynkach i infrastrukturze), co powoduje, że sektor ten jest odpowiedzialny za około 4% globalnych emisji CO₂ (WSA, 2019b; 2018).



Rys. 14. Globalna produkcja stali

Źródło: WSA. (2019a). *Steel Statistical Yearbooks*, WSA. Pozyskano z: <http://bit.ly/2DzmVg3>

Produkcja cementu w 2019 r. wynosiła 4 200 Mt (statista, 2020) i gwałtownie wzrosła od 2000 r. (Andrew, 2018) (Rys. 15). Największym producentem cementu są Chiny, odpowiadające za ponad połowę produkcji (2 200 Mt) (statista, 2020), natomiast kraje europejskie odpowiadają za niecałe 4,2% produkcji globalnej (175 Mt) (ECA, Cembureau, 2019). Połowa globalnej produkcji cementu używana jest w budynkach, reszta w obiektach inżynierskich, takich jak drogi, mosty i inna infrastruktura techniczna i transportowa (IEA, 2019a).



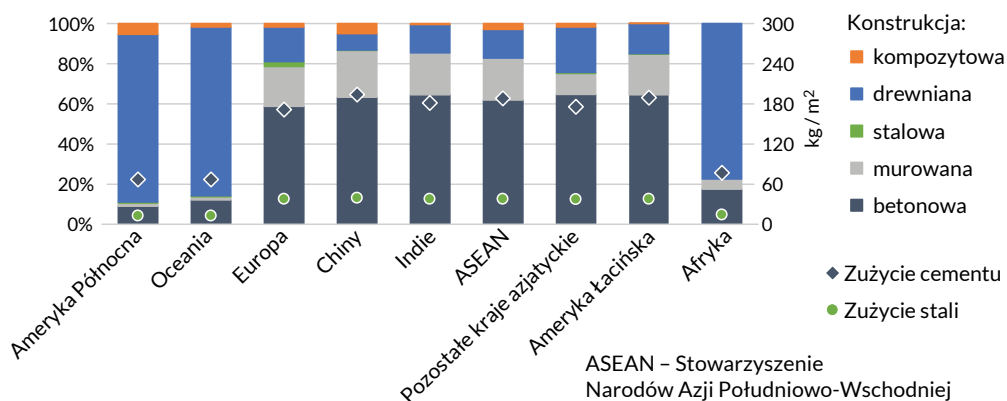
Rys. 15. Globalna produkcja cementu

Źródło: Andrew, R. M. (2018). Global CO₂ emissions from cement production. *Earth System Science Data*, 10(1), 195.

Różnorodność klimatu, dostępność i cena materiałów oraz lokalne podejście do projektowania i budowy powoduje, że rodzaj materiałów konstrukcyjnych w budynkach w różnych regionach może być znacząco odmienny, zarówno dla budynków mieszkalnych, jak i komercyjnych (Rys. 16 oraz Rys. 17). W krajach europejskich 58% budynków mieszkalnych i ponad 66% budynków komercyjnych wykorzystuje jako główny materiał konstrukcyjny beton. Budynki o konstrukcji betonowej charakteryzują się znacznie większą intensywnością materiału na jednostkę powierzchni. Co więcej, cement/beton, w odróżnieniu od stali, jest regionalnym materiałem budowlanym. Powoduje to, że ciężar produkcji i emisyjności ponoszony jest w państwach, w których jest używany.

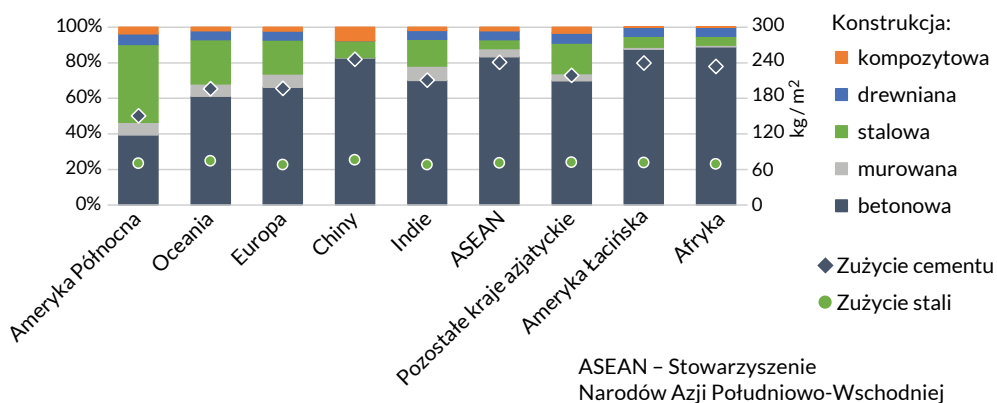
Oprócz betonu (58%) materiałami konstrukcyjnymi wykorzystywanymi w budynkach mieszkalnych w krajach europejskich są elementy małogabarytowe (cegła, pustak) z udziałem 18%, drewno (15%), elementy kompozytowe (5%) oraz stal (4%).

W budynkach komercyjnych, poza zbrojonym betonem (66%), są używane stal konstrukcyjna z udziałem 21%, elementy małogabarytowe (7%), drewno (4%), elementy kompozytowe (2%).



Rys. 16. Budynki mieszkalne ze względu na rodzaj materiału oraz intensywność cementu i stali na m² powierzchni budynku (2017)

Źródło: GABC, IEA. (2018). *Global Status Report 2018 – Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector*. Global Alliance for Building and Construction, International Energy Agency. Pozyskano z: <http://bit.ly/2Imepmb>

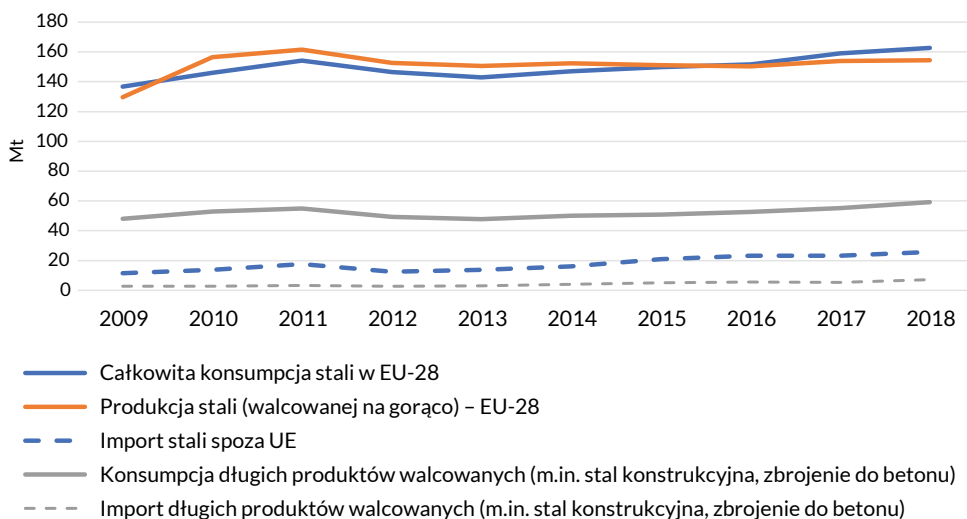


Rys. 17. Budynki komercyjne ze względu na rodzaj materiału oraz intensywność cementu i stali na m² powierzchni budynku (2017)

Źródło: GABC, IEA. (2018). *Global Status Report 2018 – Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector*. Global Alliance for Building and Construction, International Energy Agency. Pozyskano z: <http://bit.ly/2Imepmb>

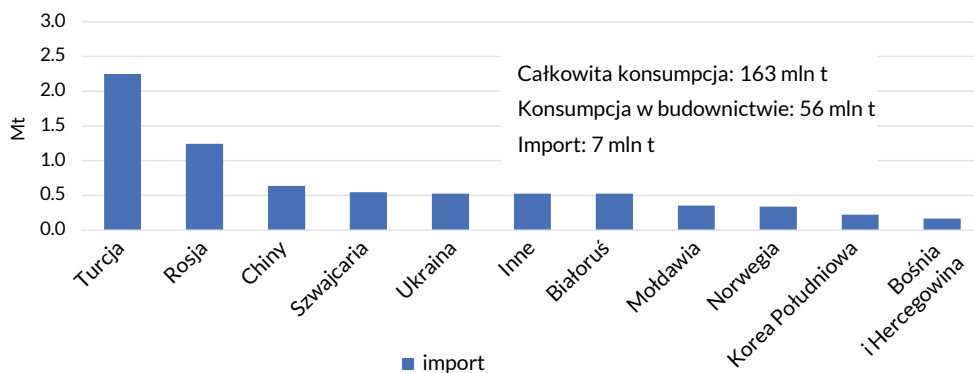
Jak wspomniano powyżej, stal nie jest produktem regionalnym – w odróżnieniu od cementu, który może być przewożony na dowolne odległości i składowany w nieograniczonym czasie. Warto zauważyć, że całkowita konsumpcja stali w EU-28 w 2018 r. wynosiła 163 Mt, produkcja natomiast – 155 Mt (import do EU-28 wynosił 29 Mt, export poza UE-28 – 21 Mt). Od 2016 r. można zauważyć nieznaczny wzrost konsumpcji stali (Rys. 18) (Eurofer, 2020; WorldSteel, 2020; WSA, 2019a). 56 Mt stali (34% konsumpcji stali EU-28) jest wykorzystywane w budownictwie (Eurofer, 2020) (kolor szary na Rys. 18). 13% stali używanej w budownictwie (7 Mt) jest importowane

spoza krajów UE (szara linia przerywana na Rys. 18), głównie Turcji i Rosji (Rys. 19). Udział wysokoemisyjnej produkcji stali z rud żelaza (w piecach martenowskich – BOF) i ze złomu stalowego (w elektrycznych piecach łukowych – EAF) dla tych krajów wynosi odpowiednio 30/70 i 70/30 (WSA, 2019a). Należy wspomnieć, iż średni udział tych dwóch sposobów produkcji w EU-28 wynosi 60/40. Dla poszczególnych krajów wyszczególniony jest na rysunku (Rys. 20).



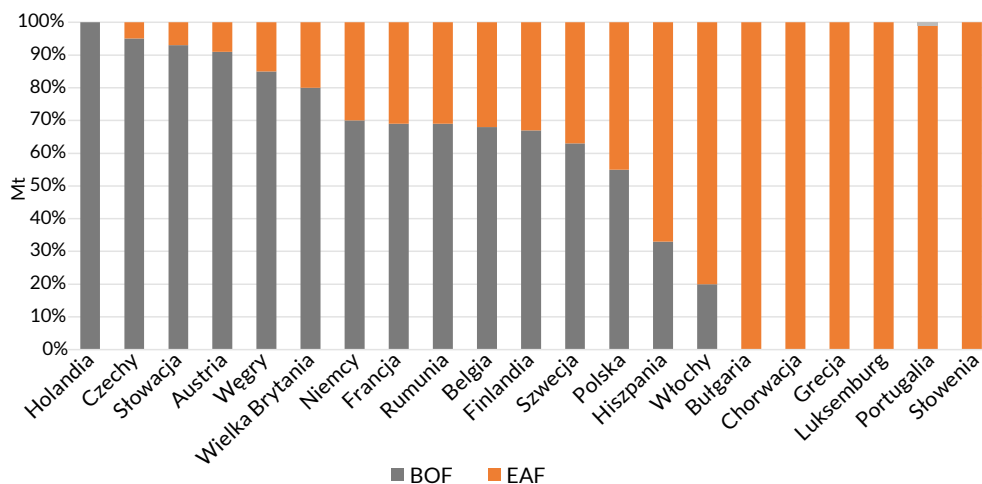
Rys. 18. Produkcja i konsumpcja stali państw UE oraz import

Źródło: Eurofer. (2020). *European Steel in Figures*. Pozyskano z: <https://www.eurofer.eu/assets/Uploads/European-Steel-in-Figures-2020.pdf>; WorldSteel. (2020). *World Crude Steel Production – Summary*. *WorldSteel*. Pozyskano z: <https://bit.ly/2KtFdTn>; WSA. (2019a). *Steel Statistical Yearbooks*. WSA. Pozyskano z: <http://bit.ly/2DzmVg3>



Rys. 19. Import długich produktów walcowanych (m.in. stal konstrukcyjna, zbrojenie do betonu) (2018)

Źródło: Eurofer. (2020). *European Steel in Figures*. Pozyskano z: <https://www.eurofer.eu/assets/Uploads/European-Steel-in-Figures-2020.pdf>

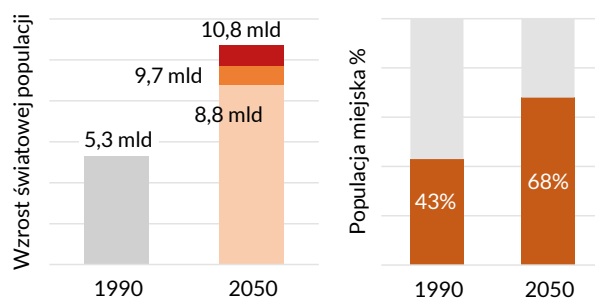


Rys. 20. Sposób produkcji stali dla różnych krajów EU-28

Źródło: WSA. (2019a). *Steel Statistical Yearbooks*. WSA. Pozyskano z: <http://bit.ly/2DzmVg3>

1.4. Wzrost populacji a planowany wzrost powierzchni budynków – rynek globalny i europejski

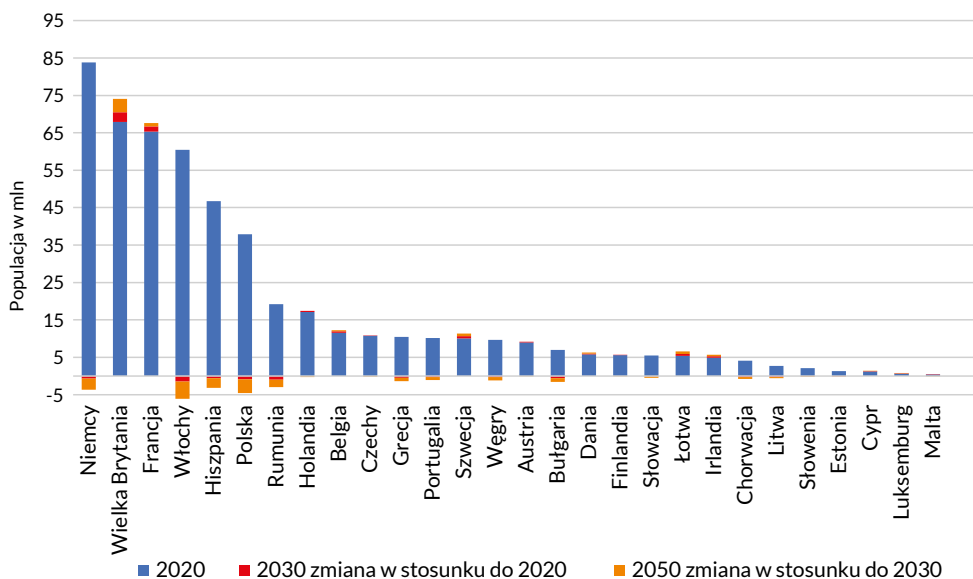
Według szacunków globalna populacja mieszkańców globu wzrośnie dwukrotnie do 2050 r. w porównaniu z 1990 r. (Rys. 21) i osiągnie 10,8 mld. W porównaniu z 2017 r. wzrost szacuje się na 40% do 2050 r. (Population, 2019). Wzrost populacji, rozwój krajów rozwijających się, jak również migracja ludzi do miast, spowodują znaczące zapotrzebowanie na nowe budynki.



Rys. 21. Szacunkowy wzrost populacji (z lewej), populacja miejska (z prawej)

Źródło: Population. (2019). *World Population Review 2019*. Pozyskano z: <http://worldpopulationreview.com/>

Według szacunków ONZ populacja Europy w 2030 r. zmaleje o 1% i aż o 10% w 2050 r. w stosunku do 2020, osiągając 710 mln (UN, 2019). Największy przyrost populacji szacowany jest w Wielkiej Brytanii i Francji, odpowiednio 6,1 oraz 2,3 mln. Największy spadek populacji szacuje się we Włoszech (o 6,1mln), Polsce (o 4,6 mln), Niemczech (o 3,7 mln), Hiszpanii i Rumunii (o 3,0 mln) (Rys. 22).



Rys. 22. Zmiana populacji krajów europejskich w latach 2020–2050

Źródło: UN. (2019). *Probabilistic Population Projections Rev. 1 based on the World Population Prospects 2019 Rev. 1*. Pozyskano z: <http://population.un.org/wpp/>

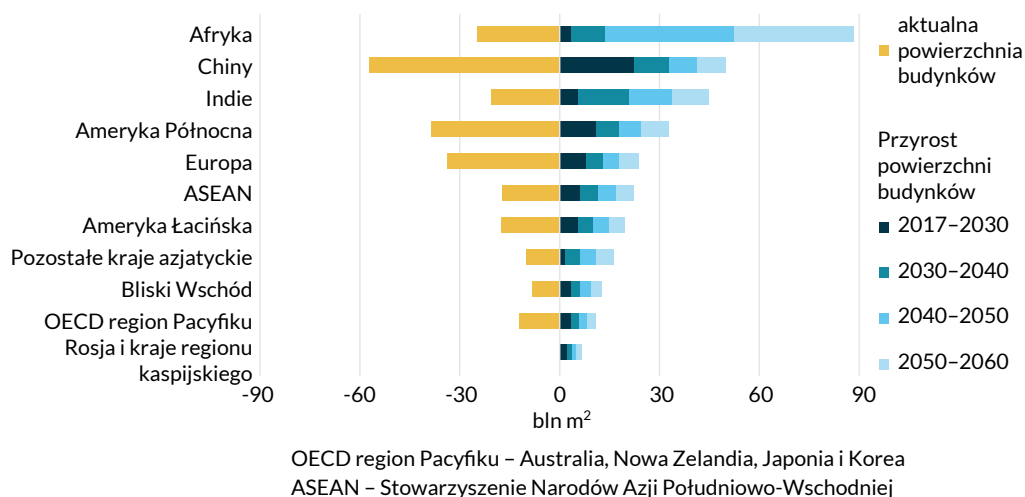
Całkowita globalna powierzchnia budynków wzrosła o 55% w porównaniu z 2000 r., osiągając w 2015 r. prawie 223 mld m² (IEA, 2017). Według szacunków do 2060 r. globalna powierzchnia budynków ulegnie podwojeniu do 453 mld m² w porównaniu z 2015 r., szczególnie w krajach rozwijających się (GABC, IEA, 2017; 2018; IEA, 2019b). Do roku 2030 i 2050 globalna powierzchnia budynków wzrośnie odpowiednio o 41% i 86% w porównaniu z 2015 r. (Tab. 2, Rys. 23).

Największy bezwzględny przyrost szacowany jest w Chinach i Indiach. W Europie Zachodniej przyrost do 2030 r. i 2050 r. szacowany jest odpowiednio o 15,1% i 23,8% (Tab. 1). Odpowiada to globalnemu przyrostowi powierzchni o odpowiednio 2,0% i 3,2%. Stosunkowo mały przyrost powierzchni budynków w Europie, szczególnie w przypadkach krajów rozwiniętych, spowodowany jest malejącą populacją i istniejącymi już zasobami budowlanymi. Szacuje się, że 65% zapotrzebowania budynków w 2060 w krajach OECD (Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju) została już wybudowana (GABC, IEA, 2017).

Tab. 2. Szacunkowy przyrost powierzchni budynków (%) w porównaniu z 2015 r. (GPB – globalna powierzchnia budynków)

	mld m ²	mld m ²	% zmiana w stosunku do 2015 r.	% zmiana w stosunku do 2015 r. GPB	mld m ²	% zmiana w stosunku do 2015 r.	% zmiana w stosunku do 2015 r. GPB
Region / kraj/rok	2015	2030	2030	2030	2050	2050	2050
Ameryka Północna	38,1	47,1	23,6%	4,0%	56,8	49,1%	8,4%
Europa Zachodnia	29,8	34,3	15,1%	2,0%	36,9	23,8%	3,2%
Eurazja	9,8	13,1	33,7%	1,5%	14,9	52,0%	2,3%
Chiny	57,8	79,3	37,2%	9,6%	84,9	46,9%	12,1%
Indie	15,8	32,1	103,2%	7,3%	57,6	264,6%	18,7%
Korea i Japonia	9,8	10,9	11,2%	0,5%	11,1	13,3%	0,6%
Azja Południowo-Wschodnia	15,6	23,8	52,6%	3,7%	32,3	107,1%	7,5%
Australia i Oceania	2,1	2,7	28,6%	0,3%	3,4	61,9%	0,6%
Ameryka Łacińska	19,3	29,1	50,8%	4,4%	43,1	123,3%	10,7%
Bliski Wschód	8,0	12,7	58,8%	2,1%	18,2	127,5%	4,6%
Afryka	17,3	30,3	75,1%	5,8%	56,0	223,7%	17,3%
Świat (GPB)	223,4	315,4	41,0%		415,2	86,0%	

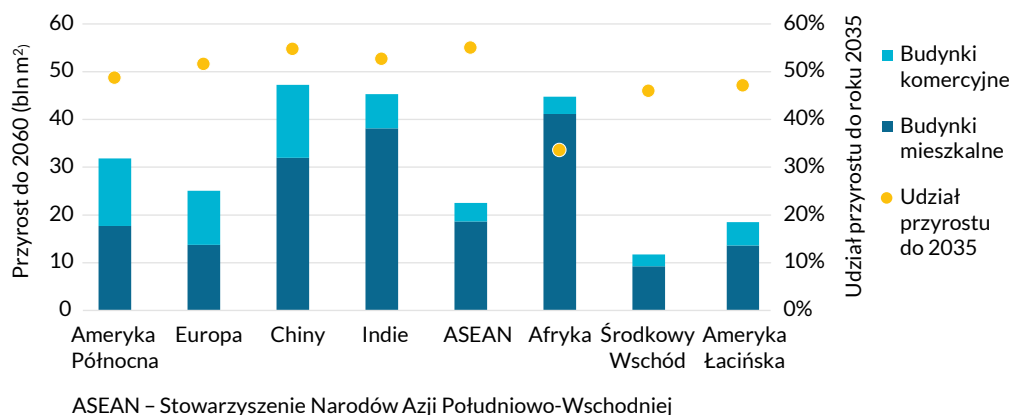
Źródło: GABC, IEA. (2017). *Global Status Report 2017 – Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector*. Global Alliance for Building and Construction, International Energy Agency. Pozyskano z: <http://bit.ly/2Imepmb>



Rys. 23. Szacunkowy przyrost powierzchni budynków (%) w porównaniu z 2015 r.

Źródło: GABC, IEA. (2017). *Global Status Report 2017 – Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector*. Global Alliance for Building and Construction, International Energy Agency. Pozyskano z: <http://bit.ly/2Imepmb>

Udział przyrostu powierzchni budynków mieszkalnych i komercyjnych ze względu na region kształtuje się na różnym poziomie. Dla regionów rozwiniętych, takich jak Europa i Ameryka Północna, przyrost jest w miarę wyrównany (pod względem powierzchni). Natomiast dla krajów rozwijających się przeważająca liczba budynków (pod względem powierzchni) będzie budynkami mieszkalnymi (Rys. 24). Spowoduje to znaczący wzrost globalnej energochłonności w sektorze budowlanym.



Rys. 24. Szacunkowy przyrost powierzchni budynków w porównaniu z 2015 r. ze względu na ich rodzaj

Źródło: IEA. (2017). *Energy Technology Perspectives 2017. Catalysing Energy Technology Transformations*. Pozyskano z: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2017>

2. Minimalizacja energochłonności i emisyjności w budownictwie w EU

Minimalizacja energochłonności, a tym samym emisyjności, w sektorze budownictwa obejmuje dwa obszary: energochłonność operacyjną budynków, związaną z ogrzewaniem, chłodzeniem, gotowaniem i używaniem urządzeń, oraz energochłonność produkcji materiałów używanych w budownictwie (minimalizacja śladu węglowego), a także minimalizacja ilości materiałów w budynkach. Zidentyfikowano strategie umożliwiające natychmiastową i przyszłościową redukcję energochłonności w sektorze budowlanym w Europie. Ze względu na emisyjność strategie powinny być rozpatrywane wspólnie z dekarbonizacją sektora energetycznego, gdyż niektóre z nich ściśle się łączą z tą gałęzią przemysłu. Na podstawie zidentyfikowanych scenariuszy zmian przedstawiono bardziej szczegółowy opis i sformułowano ocenę ryzyka poszczególnych rozwiązań pod względem społecznym, ekonomicznym oraz technologicznym.

2.1. Energochłonność/emisyjność operacyjna

Scenariusze gotowe do zastosowania „od dziś”

Poniższe scenariusze bazują na istniejących zasobach budowlanych i zakładają doskonałe przyzwyczajenia użytkownika:

- I. Edukacja – powinna uwzględniać przede wszystkim aspekt zbędnej konsumpcji energii, np.:
 - nadużywanie ogrzewania i świadome obniżanie temperatury ogrzewania pomieszczeń o 1–2°C przy dążeniu do komfortowej temperatury nieprzekraczającej 18°C;
 - wyłączanie bojlera elektrycznego w przypadku nieużywania go przez dłuższy czas;
 - wyłączanie funkcji podgrzewania wody w zasobnikach kotłów C.W.U., co pozwoli zaoszczędzić nawet 2 kWh/dzień;
 - nienadużywanie oświetlenia;
 - nienadużywanie urządzeń elektrycznych (np. gotowanie jedynie takiej ilości wody, która jest w danym momencie niezbędna);
- II. Kontrola emisyjności spalania (i innych zanieczyszczeń), szczególnie dla energii wytwarzanej w procesach spalania paliw stałych (węgli) oraz płynnych (oleje i paliwa ropopochodne); w przypadku stwierdzenia nieprawidłowości, montowanie filtrów oraz stosowanie alternatywnych sposobów wytwarzania energii.

Ad. I. Edukacja w zakresie minimalizacji konsumpcji

Obszar społeczny:

Działania w tym obszarze mają minimalny wpływ na komfort życia.

Główną barierą może być percepcja typu: *moje działania nie mają znaczącego na wpływu na minimalizację energochłonności i emisyjności*. Zachętą oraz rekompensatą za nie-

dogodności może być przedstawienie realnych oszczędności finansowych wynikających z minimalizacji konsumpcji energii.

Obszar ekonomiczny:

Zmniejszenie ilości zużywanej energii, elektrycznej, ciepłej, paliw (np. gazu ziemnego), powinno generować realne oszczędności dla użytkownika, w myśl zasady: *mniej używam, mniej płacę*. Niemniej jednak obniżenie konsumpcji nie prowadzi zazwyczaj do redukcji miesięcznych kosztów za energię (paliwo, np. gazowe). Powodem tego jest fakt, że kwota na rachunku, poza kosztem za paliwo („stawka za energię” × ilość energii), uwzględnia również cenę „za punkt odbioru” oraz „za dystrybucję” (w wielu przypadkach składa się z wielu innych, określonych przez dystrybutora). W przypadku niższej konsumpcji energii (w tym paliw), dążąc do wyrównania strat lub osiągnięcia wyższych korzyści, dystrybutor w sposób nieuzasadniony podnosi cenę „za punkt odbioru” oraz „za dystrybucję” (i wprowadza wiele innych), zwiększając miesięczne koszty użytkownika.

Podstawowym celem państw europejskich powinny być działania zmierzające do przeciwdziałania wzrostowi cen, zarówno energii jednostkowej, jak i wprowadzeniu ograniczeń związanych z dowolnością kształtowania dodatkowych, czasem niepotrzebnych dla użytkownika kosztów.

Obszar techniczny:

W tym zakresie brak barier technicznych po stronie użytkowników. Po stronie producentów energii konieczne jest natomiast poszukiwanie rozwiązań, których zastosowanie pozwoliłoby na obniżenie kosztów operacyjnych produkcji energii elektrycznej.

Ad. II. Kontrola emisyjności spalania

Obszar społeczny:

Stygmatyzowanie obszarów (społeczności) charakteryzujących się wyższymi emisjami i/lub zanieczyszczeniami może mieć negatywny wpływ na społeczność. Działania powinny polegać na zachęcaniu do minimalizacji emisyjności, a nie karaniu za zaniechanie w tym zakresie. Przeciwdziałanie powinno być skupione na jak najmniejszej ingerencji w istniejące instalacje, aby nie powodować znaczących, dodatkowych kosztów dla użytkowników (np. może dotyczyć wymiany kotła, który można zastosować w istniejącej instalacji, lub wprowadzenia filtrów kominowych). Dostępność niskoenergetycznych paliw stałych, powodujących wzrost emisyjności zanieczyszczeń, powinna zostać znacząco ograniczona. Może to spowodować wzrost kosztów nabycia nośników energii przez konsumentów. Przejściowo mogą być stosowane subwencje dla gospodarstw domowych, które nie dysponują odpowiednio dużym budżetem, aby bez znaczącego obniżenia poziomu życia mogły sprostać podwyższonym kosztom pozyskiwania wtórnych nośników energii. Opisane zmiany w perspektywie czasu spowodują znaczącą poprawę środowiska lokalnego i globalnego.

Obszar ekonomiczny:

W krajach, w których paliwa stałe mają znaczący udział w ogrzewaniu budynków mieszkalnych (np. Polska, w której 46% energii do ogrzewania budynków mieszkalnych pozyskiwana jest z paliw stałych; GUS, 2019), decyzja dotycząca wyboru stosowanego paliwa w głównej mierze zależy od jego ceny, a ta od jakości paliwa. W przypadku dostępności paliw stałych niskiej jakości i z nieefektywną instalacją spalania wzrasta ilość emitowanych zanieczyszczeń. Należy zatem ograniczyć dostępność do niskoenergetycznych, wysokoemisyjnych paliw, udzielając jednocześnie wsparcia użytkownikom gospodarstw domowych kupującym wysokoenergetyczne i niskoemisyjne paliwa. Wsparcie, zarówno krajowe, jak i europejskie, powinno obejmować zarówno wymianę kotłów oraz instalacji ogrzewania, jak i stosowanie wysokoenergetycznych i niskoemisyjnych paliw.

W niektórych krajach, pomimo licznych programów modernizacji sposobów ogrzewania, nadal brak jest motywacji do korzystania z takich dotacji. Niezbędna jest ich krytyczna ocena, wprowadzenie zmian zapewniających szybsze osiągnięcie zaplanowanych efektów, a także promocja i wsparcie podczas składania wniosków.

Obszar techniczny:

Brak barier technicznych w tym obszarze. Na rynku dostępne są niskoemisyjne technologie ogrzewania, jak również niskoemisyjne paliwa. Nie ma barier związanych z monitorowaniem zanieczyszczeń (np. przy użyciu dronów).

Scenariusze przewidziane do zastosowania „od jutra”

- I. Zweryfikowanie wytycznych budowlanych pod względem wymagań termoizolacyjności przegród budowlanych i dostosowanie ich do aktualnych zmian klimatu w poszczególnych krajach europejskich.
- II. Stosowanie okien i drzwi, które spełniają wymagania termoizolacyjności, jednak nie takich, które wielokrotnie przewyższają obowiązujące wymagania (dotyczy to również minimalizacji śladu węglowego, którego celem jest nienadużywanie materiałów).
- III. Ocieplanie istniejących budynków, w celu dostosowania ich do stref klimatycznych, a tym samym wymagań termoizolacyjności (dotyczy to zarówno budynków mieszkalnych, jak i użyteczności publicznej); jest to powiązane ze śladem węglowym w dwóch aspektach: energochłonności materiałów izolacyjnych (np. styropian, styrodur, wełna mineralna, wełna szklana – ocieplenie od zewnętrznej strony budynku) oraz stosowania ocieplenia odpowiedniej grubości (od pewnej grubości zyski termiczne są minimalne, a powodują znacznie większą energochłonność wytworzenia materiału izolacyjnego).
- IV. Zamiana konwencjonalnego ogrzewania paliwami stałymi (węgle), płynnymi (oleje i paliwa ropopochodne) oraz gazem ziemnym na ogrzewanie elektryczne (należy rozpatrywać wspólnie z programem dekarbonizacji sektora energetycznego); zamiana kuchenek gazowych/węglowych na elektryczne; zamiana spaliniowych kotłów ciepłej wody użytkowej na elektryczne.

V. Projektowanie i wznoszenie budynków niskoenergetycznych (niskoemisyjnych) – mieszkalnych i użyteczności publicznej, przy zastosowaniu niskoenergetycznych (niskoemisyjnych) i trwałych materiałów, jak również niskoemisyjnych systemów pozyskiwania energii, np. pomp ciepła, ogniw fotowoltanicznych czy paneli termicznych (Lazzarin, Noro, 2020).

VI. Stosowanie inteligentnego sterowania dla ogrzewania, chłodzenia i oświetlenia, szczególnie w budynkach biurowych i użyteczności publicznej.

Ad. I. Zweryfikowanie wytycznych budowlanych w aspekcie termoizolacyjności

Obszar społeczny:

Brak barier społecznych w tym zakresie.

Obszar ekonomiczny:

Wytyczne termoizolacyjności można znaleźć w krajowych wytycznych projektowych, jednak z dużym prawdopodobieństwem nie uwzględniają one obecnych zmian klimatu, tzn. istnieje wysokie prawdopodobieństwo, że aktualne wytyczne zawyżają istotnie minimalną termoizolacyjność. Tym samym niezbędne są prowadzone na szeroką skalę pomiary zmian temperatury dla poszczególnych regionów europejskich oraz wykonanie długoterminowych symulacji zmian temperatury, co może okazać się czasowo- i kosztochłonne. Obecnie pomiary i symulacje wykonywane dla poszczególnych regionów są fragmentaryczne i nie stanowią spójnej całości. Otrzymane z pomiarów dane miałyby posłużyć do określenia minimalnych i maksymalnych wytycznych termoizolacyjności dla poszczególnych obszarów. Nie powinno mieć zastosowania stwierdzenie: *im lepsza termoizolacyjność, tym lepiej*.

Obszar techniczny:

Brak barier technicznych w tym zakresie.

Pomiary i prognozy są obecnie wykonywane dla nowo projektowanych budynków i są częścią projektu budynku. Brak jest jednak kompleksowych wytycznych dla krajów europejskich.

Ad. II. Stosowanie odpowiednich okien i drzwi

Obszar społeczny:

Nie powinno stosować się okien i drzwi o znacząco różniących się parametrach termoizolacyjnych w porównaniu z parametrami termoizolacyjnymi ścian zewnętrznych. Może to powodować niezamierzone konsekwencje (np. mostki termiczne). Jednak pod względem społecznym wybór *im niższy współczynnik, tym lepszy*, nawet jeżeli droższy, jest powszechny. Powinno się położyć nacisk na edukację i stosowanie elementów spełniających minimalne wymagania, dostosowane do zmian klimatu.

Niższe parametry termoizolacyjne, tj. bardziej skomplikowany kształt, większa liczba szyb zespolonych, większa liczba komór etc., powoduje znaczne zwiększenie intensywności śladu węglowego produktów.

Obszar ekonomiczny:

Stosowanie odpowiednich okien i drzwi, dostosowanych do warunków klimatycznych i termoizolacyjności przegród zewnętrznych, może być z ekonomicznego punktu widzenia znacznie korzystniejsze dla właściciela niż montaż droższego rozwiązania o znacznie lepszych parametrach (lepszej termoizolacyjności, większej szczelności, ale niepotrzebnej dla istniejących w danym miejscu/regionie warunków klimatycznych). Lepsza termoizolacyjność i szczelność okien i drzwi nie poprawia znacząco całkowitej energochłonności budynku, a tym samym kosztochłonności. Stosowanie „lepszego” rozwiązania może natomiast spowodować straty finansowe związane z niezamierzonymi konsekwencjami (np. koszty odgrzybiania, wymiany wykończenia wewnętrznego, modyfikacji instalacji wentylacyjnej etc.).

Obszar techniczny:

Brak barier technicznych w tym zakresie. Na rynku dostępny jest cały wachlarz różnych produktów, które mogą mieć zastosowanie w tym obszarze.

Ad. III. Poprawa termoizolacyjności przegród budowlanych – ocieplanie istniejących budynków

Obszar społeczny:

Parametry termoizolacyjne powinny być dostosowane do warunków klimatycznych. Jednak pod względem społecznym wybór *im niższy współczynnik, tym lepszy* (więcej materiału izolacyjnego), nawet jeżeli jest droższy, jest powszechny. Ilość materiału izolacyjnego ma również wpływ na energochłonność produkcji tych materiałów (ślądu węglowego). Przy ocieplaniu budynków powinna obowiązywać zasada: *ocieplenie spełniające minimalne wymagania*. Stosowanie grubszej warstwy izolacyjnej może doprowadzić do coraz częściej występujących efektów przegrzania w mieszkaniach (Lomas, Porritt, 2017; Yannas, Rodríguez-Álvarez, 2020).

Najbardziej efektywne ocieplenie ścian powinno dotyczyć ich usytuowania po stronie niższych temperatur – od strony zewnętrznej. Największą społeczną barierą w tym zakresie jest niezachowanie istniejącej faktury elewacji (np. przykrycie ceglanej warstwy licowej kamieniem warstwą izolacyjną). Problem ten dla użytkownika może być rozwiązany dzięki wskazaniu korzyści ekonomicznych. Większym problemem są (i tak jest w rzeczywistości) wytyczne określone w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego (i odpowiednikach dla krajów europejskich) i obszarach objętych nadzorem konserwatora zabytków (np. budynki wpisane w rejestr zabytków). Decyzje o modyfikacjach i zmianie wyglądu są zazwyczaj subiektywne, nieuwzględniające znaczących korzyści związanych z energochłonnością czy emisyjnością. Powinno się edukować – i użytkowników, i decydentów – odnośnie minimalizacji energochłonności, zarówno operacyjnej (np. ogrzewanie), jak i produkcji materiałów izolacyjnych.

Obszar ekonomiczny:

Warstwa izolacji termicznej powinna być dostosowana do warunków klimatycznych z uwzględnieniem ich zmian. Grubość izolacji powinna również uwzględniać efektyw-

ność termoizolacyjną w aspekcie kosztów (Kaynakli, 2012). Wybór materiału izolacyjnego, spełniającego wymogi termoizolacyjności, powinien również uwzględniać ślad węglowy. W większości przypadków materiały o wyższym śladzie węglowym są tańsze, co dla inwestora jest argumentem wyboru. Istniejące programy termomodernizacji budynków nie uwzględniają intensywności śladu węglowego stosowanych materiałów termoizolacyjnych. Programy te powinny zostać znacznie zweryfikowane. Jednym z kryteriów, które powinny zostać wprowadzone, jest minimalizacja energochłonności przy minimalizacji śladu węglowego lub wprowadzenie współczynnika termoizolacyjności do śladu węglowego, jako kluczowego współczynnika dla uzyskania dofinansowania.

Obszar techniczny:

Brak barier technicznych w tym zakresie. Najwyższa efektywność ocieplenia ścian występuje przy ociepleniach ścian budynku od zewnętrznej strony (od niższej temperatury). Powoduje to minimalizację występowania mostków termicznych i skraplania się pary wodnej w przegrodzie prowadzącej do zagrzybienia. Na rynku budowlanym dostępne są różne produkty, które mogą mieć zastosowanie w tym zakresie.

Ad. IV. Eliminacja paliw stałych na rzecz elektryczności

Obszar społeczny:

Największymi społecznymi barierami związanymi z tymi rozwiązaniami (dla właścicieli/użytkowników lokali/budynków) mogą być: niechęć do zmian sposobów ogrzewania ze względu na przyzwyczajenie, kwestie ekonomiczne modernizacji i późniejsze koszty zakupu energii elektrycznej, techniczne kwestie modernizacji (uciążliwość prac), przyzwyczajenie do gotowania na kuchenkach gazowych.

Oprócz powyższych barier w krajach, w których paliwa stałe mają znaczący udział w produkcji energii elektrycznej, brak jest zachęt społecznych do zamiany systemów na elektryczne, co prowadzi do myślenia: *czy warto coś zmieniać, skoro i tak energia elektryczna pozyskiwana jest z wysokoemisyjnych źródeł, takich jak np. węgiel?*

Rozwiązaniem może być szeroko rozumiana edukacja, skupiająca się na korzyściach i istniejących możliwościach.

Obszar ekonomiczny:

Zamiana dla użytkownika ogrzewania/kuchenek na elektryczne wiąże się z następującymi aspektami ekonomicznymi:

- wymiana kotła centralnego ogrzewania/kuchenek/kotła ciepłej wody użytkowej;
- dostosowanie instalacji centralnego ogrzewania (ciepłej wody użytkowej) do nowego źródła ciepła (w większości przypadków niezbędna jest wymiana całej instalacji centralnego ogrzewania);
- dostosowanie instalacji elektrycznej lokalu do nowych urządzeń (w większości niezbędna jest wymiana całej instalacji elektrycznej);
- dostosowanie instalacji elektrycznej budynku do nowych urządzeń (w większości przypadków niezbędna jest wymiana całej instalacji elektrycznej);
- ceny energii elektrycznej.

Niezbędne są krajowe/europejskie programy dofinansowania, związane z kompleksowym wsparciem, które w sposób efektywny miałyby zminimalizować koszty dostosowania urządzeń i instalacji. Rozwiązania powinny uwzględniać długoterminowy bilans emisyjności, biorąc pod uwagę emisyjność operacyjną (ogrzewanie, gotowanie) i ślad węglowy (urządzeń, instalacji).

Obszar techniczny:

Brak jest barier technicznych w zakresie zamiany sposobu ogrzewania (kotła spalinyowego na elektryczny), kuchenek gazowych/węglowych na elektryczne czy wymiany instalacji elektrycznej. Na rynku istnieje wiele różnych rozwiązań, które mogą mieć zastosowanie. Poważną barierą techniczną dla właściciela lokalu/budynku jest dostosowanie instalacji elektrycznej do wymogów nowych urządzeń, przy spełnieniu norm budowlanych.

Główną barierą techniczną jest również zapewnienie dostarczenia energii elektrycznej ze źródeł niskoemisyjnych.

Ad. V. Projektowanie i wznoszenie niskoemisyjnych budynków

Obszar społeczny:

W przypadku projektowania i wznoszenia niskoemisyjnych budynków, przy użyciu trwałych materiałów, niskoemisyjnych źródeł pozyskiwania energii (pompy ciepła, ogniwa fotowoltaniczne, panele termiczne), największymi zaletami są: komfort życia, prestiż dla inwestora/użytkownika i długoterminowe oszczędności. Niemniej jednak największym problemem może się okazać nakład finansowy związany z realizacją inwestycji.

Należy edukować, że wznoszenie budynku jest inwestycją długoterminową, wymagającą łącznej kalkulacji wielkości nakładów inwestycyjnych oraz kosztów eksploatacji obiektu przez kilka dziesięcioleci.

Obszar ekonomiczny:

Koszty projektowania i wznoszenia niskoemisyjnych budynków, w tym używania niskoemisyjnych materiałów i niskoemisyjnych metod pozyskiwania energii, są przeważnie znacznie przeszacowane z powodów marketingowych. Nieuzasadnione są „dodatkowe” koszty projektowania, materiałów i urządzeń.

Te aspekty powinny zostać uregulowane na poziomie legislacyjnym.

Obszar techniczny:

Generalnie brak jest barier technicznych w tym zakresie. Obecnie coraz częściej projektowane są bardzo niskoemisyjne budynki, głównie pod względem operacyjnym, lecz czasem również pod względem śladu węglowego. Nowo projektowane budynki są oceniane pod kątem energochłonności i emisyjności oraz otrzymują na tej podstawie odpowiednie certyfikaty (Marsh, 2019).

W przypadku śladu węglowego brak jest jednak jednoznacznych wytycznych dotyczących specyfikacji niskoemisyjnych materiałów. Prowadzone są prace normalizacyjne w tym kierunku (CEN).

Ad. VI. Stosowanie sterowania inteligentnego

Obszar społeczny:

Największymi obawami związanymi z zastosowaniem sterowania inteligentnego mogą być te dotyczące kosztu dostosowania budynku do niego, braku zaufania do nowych technologii, jak również obawy przed utratą kontroli nad systemem. Pierwszy typ obaw może zostać zneutralizowany poprzez wskazanie długoterminowych korzyści ekonomicznych. Dwa kolejne mogą natomiast zostać zredukowane poprzez edukację, ze szczególnym uwzględnieniem realnych zagrożeń związanych z przejęciem kontroli przez osoby trzecie (zostało to rozwinięte w „obszarze technicznym”).

Obszar ekonomiczny:

Barьеры związane z nakładami inwestycyjnymi mogą być usunięte dzięki przeprowadzeniu kalkulacji i przedstawieniu bilansu nakładów z jednej strony oraz długofalowym oszczędnościom związanym z dostosowaniem budynku do sterowania inteligentnego z drugiej strony. W przypadku niekorzystnego długoterminowego bilansu niezbędne jest wprowadzenie krajowych/europejskich programów dofinansowania.

Obszar techniczny:

Brak jest barier technicznych dla użytkowników budynków w tym zakresie. Na rynku budowlanym istnieje wybór systemów sterowania inteligentnego. Barięą techniczną systemów może okazać się brak odpowiednich zabezpieczeń, powodujących niepożądaną ingerencję w system *smart home* przez osoby trzecie. Spowodować to może przejęcie kontroli nad system sterowania oraz naruszenie prywatności użytkowników (podgląd z kamer, odbezpieczenie drzwi i okien, dezaktywacja alarmu). Barięą techniczną jest również zapewnienie dostarczenia energii ze źródeł niskoemisyjnych.

2.2. Ślad węglowy

Rozwiązania gotowe do zastosowania „od dziś”

- I. Zintensyfikowanie ponownego użycia materiałów konstrukcyjnych (stali, betonu, drewna), sprzętów (RTV, AGD), wyposażenia (mebli), zarówno w istniejących, jak i nowo wznoszonych budynkach; to podejście jest najważniejsze spośród wszystkich zawartych w planie zrównoważonego rozwoju.
- II. Wymiana elementów budynków: elewacji, instalacji, wykończenia (np. podłogi, drzwi, okna), wyposażenia (meble, wykładziny, sprzęt RTV, AGD), gdy jest to niezbędne, tj. w przypadku braku możliwości naprawy (tak jak powyżej przedłużanie czasu użytkowania jest najważniejszym podejściem spośród wszystkich zawartych w strategii zrównoważonego rozwoju).

Ad. I. Ponowne użycie materiałów

Obszar społeczny:

Nieufność w stosunku do ponownego użycia materiałów konstrukcyjnych związana jest z ich właściwościami fizycznymi, wytrzymałością i trwałością. Jednak w więk-

szości przypadków elementy konstrukcyjne spełniają założone wymagania. Niechęć do ponownego ich stosowania może być spowodowana przekonaniem inwestorów czy architektów, że w budynku powinny zostać zainstalowane jedynie nowe materiały (Dunant et al., 2017). Bardzo podobne nastawienie spotyka się w stosunku do materiałów niekonstrukcyjnych, np. elewacji, okien, drzwi, które spełniają zarówno wymagania techniczne, jak i estetyczne. W krajach rozwiniętych, takich jak Wielka Brytania, Niemcy, Francja, brak jest przekonania do wydłużania czasu użytkowania sprzętów i wyposażenia, jak również ich ponownego stosowania. W krajach rozwijających się takie postępowanie jest bardziej powszechne, natomiast w krajach nierozwiniętych bardzo powszechne, głównie ze względu na brak dostępności nowych materiałów i produktów.

Rozwiązaniem powyższych problemów jest edukacja, głównie odnośnie przedstawiania korzyści wynikających z ponownego wykorzystania materiałów.

Obszar ekonomiczny:

Koszt ponownego wykorzystania materiałów konstrukcyjnych (np. stali) jest zazwyczaj porównywalny z nowymi (np. stali konstrukcyjnej). Niemniej jednak w pewnych sytuacjach koszt ten jest znacznie niższy (np. przy wykorzystaniu części lub całych konstrukcji) (Dunant et al., 2017; Dunant et al., 2018b). W przypadku betonu, który zazwyczaj musi być wykorzystany w miejscu pierwotnego wbudowania (np. fundamenty, część lub cała konstrukcja), kosztochłonność materiałowa jest minimalna. W przypadku używanych elementów niekonstrukcyjnych, spełniających wymagania techniczne i estetyczne oraz sprzętów i wyposażenia, koszt jest znacznie niższy w porównaniu z zakupami nowych.

Stosowanie używanych materiałów konstrukcyjnych i niekonstrukcyjnych może powodować zwiększenie kosztów ubezpieczenia budynku, jak również jego utrzymania.

Należy wspomnieć, iż elementy konstrukcyjne w budynkach projektowane są na 50 lub więcej lat (CEN, 2002) lecz ich rzeczywista trwałość jest znacznie dłuższa. Budynki są wyburzane średnio po około 40 latach (Huuhka & Lahdensivu, 2016), czasem okres ich użytkowania nie przekracza nawet 25 lat (Athena, 2004).

Stosowanie używanych sprzętów i wyposażenia może powodować zwiększenie kosztów utrzymania w związku z ich naprawami.

Obszar techniczny:

Ponowne użycie materiałów konstrukcyjnych w budynkach może wymagać określenia ich właściwości, co nie jest problemem, gdyż dostępne są do tego metody. Jedyną barierą może być koszt ich wykonania. Jednak w wielu przypadkach określenie właściwości fizycznych czy chemicznych nie jest wymagane, np. w przypadku stali konstrukcyjnej (Dunant et al., 2018b). Problemem może być dostępność (w przypadku stali konstrukcyjnej; Densley-Tingley et al., 2017; Dunant et al., 2017; Hradil P. et al., 2014). W przypadku używanych sprzętów i wyposażenia problemem może być brak części zamiennych lub możliwości ich naprawy, co wyeliminuje je z dalszego użytkowania.

Ad. II. Wymiana elementów budynków

Obszar społeczny:

Wymiana elementów elewacji, instalacji, wykończenia zazwyczaj nie wynika z niespełnienia przez nie wymagań technicznych, lecz raczej ze względów estetycznych, co prowadzi do skrócenia zamierzonego i projektowanego życia tych elementów.

Nacisk powinien być położony na szeroko rozumianą edukację, skupiającą się na korzyściach związanych z długoterminowym użytkowaniem.

Obszar ekonomiczny:

Częstsze wymiany elementów budynków powodują nieuzasadniony wzrost kosztów.

Obszar techniczny:

Brak barier technicznych w tym zakresie.

Rozwiązania przewidziane do zastosowania „od jutra”

- I. Podczas wymiany elementów budynku (np. okna, drzwi) należy stosować elementy spełniające wymagania (np. termiczne), ale nie takie, których parametry wielokrotnie przewyższają wymagane charakterystyki; takie postępowanie powoduje, iż mają one znacznie wyższy ślad węglowy i są znacznie droższe.
- II. Przeprowadzenie analizy związanej z zapotrzebowaniem na obiekty budowlane lub nowe budynki.
- III. Wykorzystanie istniejących budynków.
- IV. Redukcja emisyjności i energochłonności podczas projektowania nowych budynków.
- V. Redukcja emisyjności i energochłonności podczas produkcji/wznoszenia nowych budynków.

Ad. I. Wymiana elementów budynków

Obszar społeczny:

Ten aspekt został opisany przy omawianiu „Energochłonności operacyjnej”, należy jednak powtórzyć, że elementy o lepszych parametrach są niekoniecznie korzystniejsze do zastosowania. Postrzeżenie jest jednak następujące: *im wyższe parametry termoizolacyjne, tym lepiej*. Wyższe parametry termoizolacyjne i tym samym rozwiązanie droższe ma wyższy ślad węglowy. W tych przypadkach powinno mieć zastosowanie stwierdzenie: *używać tego, co potrzebne, nie przepłacając*. Nacisk powinien zostać położony na szeroko rozumianą edukację, skupiającą się na korzyściach finansowych związanych ze stosowaniem elementów spełniających w minimalnym stopniu wymagania.

Obszar ekonomiczny:

Elementy o niższych parametrach, spełniające jednak wymagania techniczne i trwałości, są wielokrotnie tańsze.

Obszar techniczny:

Brak barier technicznych w zakresie.

Ad. II. Zapotrzebowanie na obiekty budowlane

Obszar społeczny:

W tym zakresie należy odpowiedzieć na następujące pytania:

- Czy nowy budynek jest niezbędny?
- Jaki jest cel jego budowy?
- Co się zyska, budując nowy budynek?
- Czy można korzystać z istniejących zasobów?

Największe oszczędności, zarówno odnośnie energochłonności, jak i finansów, osiągnie się, nie budując. Doświadczenie pokazuje, że istniejące, nowo wzniesione budynki, z różnych powodów nie są w pełni wykorzystane i dlatego należy rozważyć, czy planowane inwestycje przyniosą długoterminowe korzyści, zarówno dla właściciela, jak i użytkowników.

Nacisk powinien zostać położony na szeroko rozumianą edukację oraz analizy kosztów i strat oraz aktualnych trendów.

Obszar ekonomiczny:

W przypadku wykorzystania istniejących zasobów budowlanych koszty są o wiele niższe.

Obszar techniczny:

Brak barier technicznych w zakresie.

Ad. III. Wykorzystanie istniejących budynków

Obszar społeczny:

Największymi zaletami w tym zakresie mogą być prestiż i kreatywność wykorzystania istniejących zasobów, a barierami – brak możliwości spełnienia wymagań klienta/inwestora ze względu na ograniczenia związane z istniejącym systemem strukturalnym, ułożeniem pomieszczeń, ich wysokością. Bariery mogą jednak zostać zniwelowane dzięki kreatywności projektantów. Istnieje wiele miast, w których adaptacja budynków jest powszechna, np. w Londynie 47% nowo budowanych powierzchni komercyjnych (0,12 mln m²) jest efektem adaptacji już istniejących budynków (Deloitte, 2018).

Nacisk powinien zostać położony na edukację inwestorów, firm developerskich.

Obszar ekonomiczny:

Zwykle wykorzystywanie istniejących budynków, przebudowa, dobudowa, adaptacja jest znacznie mniej kosztochłonna niż wznoszenie nowych budynków.

Obszar techniczny:

Największym problemem może być dostępność budynków do adaptacji, jak również ich dostosowanie do aktualnych wymagań technicznych. W tym drugim przypadku można jednak poszukiwać skutecznych metod dostosowania obiektu do aktualnych wymagań.

Ad. IV. Nowe budynki – etap projektowania

W przypadku projektowania nowych budynków nacisk powinien być położony na redukcję ilości materiałów, zarówno konstrukcyjnych (stali, betonu, zbrojonego betonu), jak i innych (wykończeniowych), oraz na poprawę ich wykorzystania. Obowiązujące normy konstrukcyjne są bardzo konserwatywne, dając znaczny margines bezpieczeństwa (rodzina Eurokodów; CEN, 2002). Pomimo to powszechnie stosowane jest przewymiarowywanie konstrukcji (Drewniak et al., 2020; Dunant et al., 2018a; Moynihan, Allwood, 2014) oraz zawyżonych założeń – obciążeń, limitów ugięć etc. (Drewniak, Orr, 2019; Orr et al., 2018). Projektowanie powinno uwzględniać jak najdłuższe użytkowanie, czego efektem jest minimalizacja energochłonności w ogólnym rachunku całego cyklu życia.

Na etapie projektowania szczególny nacisk powinien zostać położony na:

- a) stosowanie minimalnych wytycznych projektowych – aktualne wytyczne projektowe zakładają nierealne obciążenia, np. od obciążeń ludzi (Drewniak, Orr, 2019), które na etapie projektowania są zazwyczaj niepotrzebnie zwiększane (Orr, Drewniak, 2018); zwiększenie o 50% normowego obciążenia zmiennego w budynkach (od ludzi, sprzętów, wyposażenia) może spowodować wzrost o 15% śladu węglowego konstrukcji i wzrost o 20% kosztów (Acheng, 2015);
- b) analizując konstrukcje betonowe Orr et al. (Orr et al., 2011) oraz stalowe Moynihan i Allwood (Moynihan & Allwood, 2014), Dunant et al. (Dunant et al., 2018a), stwierdzili, że niewykorzystane jest nawet do 40% materiału, a więc zbędne z konstrukcyjnego punktu widzenia (nie wykraczając poza wytyczne norm konstrukcyjnych);
- c) na podstawie istniejących budynków biurowych oraz edukacyjnych Dunant et al. (Dunant et al., 2018a) stwierdzili, że niemal połowę (48%) śladu węglowego konstrukcji, a tym samym 37% kosztów, można zaoszczędzić dzięki odpowiedniemu wyborowi rozwiązania konstrukcyjnego, stosowania nieskomplikowanych kształtów i optymalizowania elementów (nie wykraczając poza wytyczne norm konstrukcyjnych);
- d) Drewniak et al. (Drewniak et al., 2020) wykazali, że 26,5% stali konstrukcyjnej można zaoszczędzić, jeżeli elementy będą projektowane według minimalnych wymagań norm konstrukcyjnych; przekłada się to na redukcję śladu węglowego o 25%.

Obszar społeczny:

Używanie niezbędnej ilości materiałów. W większości przypadków projekty są przewymiarowane, (nawet 40% więcej materiału niż potrzeba). Jest to spowodowane:

- brakiem zaufania projektantów do wytycznych projektowych,

- brakiem wystarczającej wiedzy projektantów o sposobie zachowania się konstrukcji,
- brakiem wystarczającej wiedzy projektantów co do systemów konstrukcyjnych, które mogłyby zostać wykorzystane w celu spełnienia wymagań inwestora/wizji architekta;
- włączanie prowizji architektów, projektantów, wykonawców do kosztu projektu, który jest bezpośrednio związany z ilością materiału – brak zachęty do używania mniejszej ilości materiałów.

Nacisk powinien zostać położony na edukację projektantów w kierunku lepszego wykorzystania materiałów, dostępnych technologii, jak również inwestorów, z przedstawieniem korzyści minimalizacji zużycia materiałów.

Obszar ekonomiczny:

Używanie większej ilości materiałów powoduje znacznie większe koszty budowy (zbędne koszty). Jednocześnie prowizja projektantów jest ustalana na podstawie wartości projektu, wynikającego bezpośrednio z ilości zużytych materiałów. Brak jest zachęty ze strony projektantów do zmniejszenia ilości materiałów/optymalizacji. Co więcej, występować mogą dodatkowe, nieuzasadnione koszty związane z projektowaniem, dodatkową optymalizacją i zmniejszeniem materiałochłonności.

Obszar techniczny:

Brak barier technicznych w zakresie.

Ad. V. Nowe budynki – etap produkcji

Na etapie produkcji nacisk powinien być położony na stosowanie mniej energochłonnych materiałów, minimalizację ilości odpadów podczas produkcji i podczas budowy (w przypadku sektora budowlanego); stosowanie ilości materiału wyspecyfikowanego w projekcie, w tym:

- a) ponowne wykorzystanie materiałów (Nußholz et al., 2020);
- b) substytucja klinkieru w cemencie, stosowanie cementów wieloskładnikowych (Golaszewski et al., 2019; Van den Heede, De Belie, 2012; Yang et al., 2015);
- c) stosowanie niskoemisyjnego cementu;
- d) minimalizacja cementu w betonie i projektowanie zoptymalizowanego składu (w praktyce ilość cementu zwyczajowo jest o 20% wyższa) (Colangelo et al., 2018; Purnell, 2013);
- e) stosowanie odpowiedniego cementu do założonych celów (Favier et al., 2018);
- f) zastosowanie stali z „odzysku” (UKRI, 2015);
- g) stosowanie stali z recydingu.

Obszar społeczny:

Nacisk powinien być położony na ponowne wykorzystanie istniejących materiałów. Zdarza się jednak, że wymagania klienta czy architekta skierowane są na wykorzystanie jedynie nowych materiałów (zob. Dunant et al., 2017) – ze względu na

nieuzasadnione postrzeganie używanych materiałów jako mniej wartościowych i nieatrakcyjnych estetycznie. W przypadku projektantów konstrukcji występuje nieuzasadniony brak zaufania do ponownego użycia stalowych elementów konstrukcyjnych ze względu na ich wytrzymałość i trwałość. W przypadku, gdy nie jest możliwe ponowne wykorzystanie materiałów, zalecane jest stosowanie niskoenergochłonnych (niskoemisyjnych). Niestety w wielu przypadkach postrzegane są one jako mniej trwałe i droższe. Powszechnie jest stosowanie większej ilości materiału, np. w przypadku cementu w mieszankach betonowych, z powodu niepewności związanej z błędami wykonawczymi. Sektor budowlany jest bardzo odporny na innowacje, dlatego wdrażanie nowych rozwiązań jest bardzo czasochłonne, tym samym zmiana tradycyjnych metod budowania na nowe/innowacyjne jest znacznie utrudniona.

Coraz powszechniej stosowane są materiały z recyklingu (głównie stali), nie jest to jednak spowodowane chęcią użycia mniej energochłonnych materiałów, tylko z coraz większą ich dostępnością na rynku.

Nacisk w tym obszarze powinien zostać położony na edukację wszystkich uczestników procesu budowlanego, ze szczególnym uwzględnieniem ekonomicznych korzyści stosowana minimalnej ilości niskoenergochłonnych materiałów.

Obszar ekonomiczny:

Postrzeżoną zaletą stosowania większej ilości materiałów, która jednak wymaga akceptacji wyższych nakładów inwestycyjnych, jest długoterminowe zmniejszenie prawdopodobieństwa roszczeń związanych z błędami wykonawczymi. Jest to nieracjonalna postawa, ponieważ elementy są projektowane pod względem wytrzymałości i trwałości, a nadmierna ilość materiałów jest zbędna.

W przypadku niskoemisyjnych materiałów, ze względu na brak powszechności, występuje niepewność związana z ich kosztem nabycia. Interesujący jest fakt, iż cena stali konstrukcyjnej pochodzącej z recyklingu nie różni się znacząco, a w wielu przypadkach jest identyczna, co cena stali wytopionej z rud żelaza. A przecież stal ze złomu stalowego przetwarzana w elektrycznych piecach łukowych jest uzyskiwana przy uzyskaniu nawet 75% oszczędności energii w porównaniu z wytopem stali w piecu martenowskim z rudy żelaza. Występowanie braku różnicy cen stali wytwarzanej w różny sposób powoduje, że brak jest finansowej zachęty dla inwestorów do stosowania stali niskoemisyjnej.

Redukcja cen stali z recyklingu mogłaby być możliwa w przypadku zwiększenia jej produkcji. To jednak wiąże się z inwestycjami w zmianę sposobu produkcji. Pomocne mogłyby się okazać programy pomocowe umożliwiające transformację technologiczną. Niezbędne są również innowacyjne rozwiązania dotyczące separacji złomu stalowego przed wprowadzeniem do pieca łukowego, ponieważ wysoki udział zanieczyszczeń, szczególnie miedzią ze złomu samochodowego, powodować może zmiany właściwości produkowanej stali.

Obszar techniczny:

W przypadku ponownego wykorzystania materiałów budowlanych, w tym konstrukcyjnych, brak jest barier technicznych.

Cement / beton:

Produkcja cementu jest wysokotemperaturowa (w temperaturze 1450°C) i zatem jest wysokoenergetyczna. 40% emisyjności związane jest z produkcją ciepła (pochodzącej ze spalania paliw stałych, kopalnych i alternatywnych), 60% z dekarbonizacją margli (Schneider et al., 2011). Tak więc produkcja cementu, nawet przy zmniejszeniu emisyjności związanej z procesami termicznymi, jest wysokoemisyjna. Możliwa jest natomiast produkcja cementu niskoenergochłonnego – w temperaturze 1350°C (Popescu et al., 2003; Staněk, Sulovský, 2015). Jego zastosowanie wiąże się z wydłużeniem czasu wiązania betonu i tym samym spowolnieniem robót budowlanych.

Cement jest jednym ze składników betonu, stanowiącym około 15% jego składu pod względem masy. Możliwe jest stosowanie dodatków zmniejszających ilość stosowanego (wysokoemisyjnego) cementu w postaci ubocznych produktów spalania (popioły lotne) oraz ubocznych produktów produkcji stali (granulowany żużel wielkopiecowy). Wraz z dekarbonizacją przemysłu energetycznego i redukcją produkcji stali te dodatki mogą jednak być niedostępne lub dostępne w mniejszej ilości. Nowe technologie pozwalające na użycie materiałów zastępujących częściowo cement są niezbędne. Obiecującym kierunkiem zmian wydaje się zastosowanie gliny kalcynowanej i mielonego wapnia, które są naturalnymi materiałami i są niskoemisyjne pod względem przygotowania do zastosowania (Favier et al., 2018; Shanks et al., 2019).

Stal konstrukcyjna:

Ponowne wykorzystanie stali umożliwia znaczne obniżenie jej energochłonności. Dodatkowa energochłonność wiąże się z pozyskaniem stali z budynku oraz dostosowania jej wymiarów do wymagań projektowych. Zastąpienie produkcji stali z rud żelaza na rzecz produkcji ze złomu stalowego w elektrycznych piecach łukowych (wykorzystujących niskoemisyjną energię elektryczną) jest ograniczone z dwu powodów:

- braku wystarczającej ilości złomu stalowego, co może spowodować brak możliwości pokrycia zapotrzebowania na stal;
- stal pochodząca z recyklingu może wykazywać znaczną ilość zanieczyszczeń, szczególnie miedzią (ze złomu samochodowego); w przypadku zbrojenia do betonu nie jest to ograniczenie, ale w przypadku stali konstrukcyjnej ma to znaczenie; niezbędne są technologie separacji złomu stalowego przed wprowadzeniem do pieca łukowego.

Inne niskoemisyjne spoiwa:

Stosowanie niskoemisyjnych geopolimerów i spoiw aktywowanych alkaliami (wykorzystujących uboczne produkty spalania i produkcji stali) jest bardzo obiecujące. W miarę dekarbonizacji przemysłu energetycznego i redukcji produkcji stali brak jednak będzie możliwości ich wykorzystania na masową skalę ze względu na brak materiału do ich produkcji.

3. Dyskusja

Informacje i analizy zawarte w prezentowanym rozdziale obrazują stan faktyczny energochłonności i emisyjności sektora budowlanego, ze szczególnym uwzględnieniem krajów europejskich. Jeszcze do niedawna energochłonność i emisyjność rozpatrywana mogła być jako dwie równoznaczne miary. Powodem tego był brak różnorodności paliw służących do uzyskiwania energii. Wraz z wprowadzeniem niskoemisyjnych źródeł energii i tym samym produkcji niskoemisyjnych materiałów, energochłonność i emisyjność powinny być rozpatrywane oddzielnie. Może wystąpić sytuacja, w której znaczący wzrost energochłonności (energii elektrycznej czy ciepłej) nie doprowadzi do zwiększenia emisyjności, a w szczególnym przypadku spowoduje nawet znaczące zmniejszenie emisyjności w porównaniu ze stanem obecnym. Byłoby to możliwe, jeśli nastąpi zmiana sposobu pozyskiwania energii na nisko- lub nawet nieemisyjną.

Czy jest jednak możliwe, aby w przeciągu 10, 20 czy nawet 30 lat zasadniczo zmienić sposób pozyskiwania energii w krajach europejskich? Jakie źródła energii jesteśmy w stanie stworzyć? Czy jesteśmy w stanie pokryć zapotrzebowanie na energię, stosując nisko- lub nieemisyjne źródła energii? (np. jaka część terytorium lądowego i morskiego szelfu w Europie musiałaby być wykorzystana pod farmy wiatrowe czy instalacje fotowoltaiczne celem pokrycia zapotrzebowania na energię?). Dlatego jedyną zasadną wydaje się strategia minimalizacji energochłonności, zarówno operacyjnej, jak i produkcji materiałów, prezentująca w domyśle redukcję emisyjności.

W rozdziale wskazano rozwiązania, które można zastosować zarówno „od dziś”, jak i „od jutra” celem minimalizacji konsumpcji energii. Opierają się one głównie na dostępnych dziś technologiach. W większości przypadków brak jest barier techniczno-technologicznych. Głównymi są jednak bariery społeczne i ekonomiczne. Te pierwsze mogą zostać przezwyciężone poprzez szeroko rozumianą edukację i zmianę przyzwyczajęń inwestorów, właścicieli i użytkowników budynków. Drugie natomiast poprzez wskazanie rzeczywistych, długoterminowych korzyści ekonomicznych. W przypadku jednak niekorzystnego długoterminowego bilansu nastąpić powinna weryfikacja istniejących i wprowadzenie nowych programów wsparcia, których celem jest minimalizacja energochłonności i emisyjności w sektorze budowlanym. Rozwiązaniem do zastosowania „od dziś” dla istniejących budynków jest minimalizacja energochłonności poprzez poprawę izolacyjności termicznej oraz zamianę wszystkich urządzeń i instalacji na elektryczne. Ta ostatnia musi zostać rozpatrywana łącznie ze zmianą technologii produkcji energii elektrycznej na niskoemisyjną.

W przypadku nowo projektowanych obiektów najważniejsze powinno okazać się pytanie: czy potrzebny jest nowy budynek? Czy nie można wykorzystać istniejących zasobów (budynków, materiałów)? Dopiero w następnej kolejności można stosować metody projektowania uwzględniające energochłonność początkową (związaną z energochłonnością materiałów, powiązaną z maksymalizacją ich wykorzystania – opisane to zostało powyżej), operacyjną (związaną z użytkowaniem budynku naprawami, wymianami), jak również związaną z rozbiórką i utylizacją materiałów (ponownym wykorzystaniem). Jednym ze sposobów jest zastosowanie wytycznych zawartych

w normie EN 15978:2011 (BSI, 2011; UKGBC, 2019). Znajdują one jednak zastosowanie odnośnie emisyjności, choć biorą pod uwagę zmiany sposobu pozyskiwania energii. Inną, skupioną na energochłonności, jak również uwzględniającą zmiany kosztu zakupu energii, jest metoda ECM (Energy Cost Metric) (MacKay et al., 2020).

W przypadku energochłonności produkcji materiałów budowlanych, poza elektryfikacją (tam, gdzie to możliwe) nacisk powinien zostać położony na polepszanie efektywności produkcji. Tradycyjne metody koncentrują się głównie na określeniu zakresu możliwej redukcji nakładów energii, pomijając jednak energię zawartą w materiale poddanym procesom przemysłowym. Nie uwzględniają również strat materiałowych i energochłonności podczas produkcji. W ostatnich latach nastąpiła znaczna intensyfikacja określania efektywności wykorzystania materiałów, obok doskonale znanej analizy efektywności energetycznej. Korzyści tego podejścia zostały dostrzeżone w książce *Sustainable Materials: with both eyes open* (Allwood et al., 2012). Aby jednak zrozumieć interakcje i możliwe kompromisy między obydwoma zasobami, niezbędna jest jednoczesna analiza energii i materiałów służących do produkcji (Gonzalez-Hernandez, 2018). Metodą umożliwiającą taką analizę jest Metoda Efektywnego Wykorzystania Zasobów – REM (ang. *Resource Efficiency Method*), która stanowi narzędzie określające wzajemne interakcje pomiędzy energią a zasobami podczas produkcji i bazuje na określeniu egzergii (J) (Szargut et al., 1988). Analiza egzergii wskazuje również obszary produkcji, które wykazują znaczące straty energii, głównie cieplnej (to rozwinięte zostanie poniżej).

Poza opisanymi w „możliwe do zastosowania od dziś” i „przewidziane do zastosowania od jutra” metodami i strategiami minimalizacji energochłonności w budownictwie, które opierają się głównie na dostępnych technologiach, nie można pominąć technologii, które zostały opracowane i są wdrażane. Nie znajdują jednak jeszcze zastosowania na globalnym rynku budowlanym, jednak okazują się bardzo obiecujące.

3.1. Możliwe do zastosowania od „jutra wieczorem”

I. Odzysk energii cieplnej z instalacji produkcyjnych

Podczas procesów produkcyjnych (np. przemysł chemiczny, mineralny, metali żelaznych) wytwarzane są ogromne ilości ciepła, które, jeżeli nie są wykorzystywane wtórnie podczas produkcji, wykazywane są jako straty energii cieplnej (np. straty ciepła wokół pieca obrotowego w cementowych zakładach produkcyjnych czy piecach podczas produkcji stali). Jego wychwytywanie i ponowne zastosowanie zależy od źródła ciepła i jego intensywności. Istnieje wiele metod wychwytywania energii cieplnej (Jouhara et al., 2018). Metody te, w powiązaniu z magazynowaniem ciepła (opisanego poniżej), mogłyby posłużyć do celów operacyjnych budynków.

II. Zastosowanie wodoru

Jedną ze strategii dekarbonizacji jest zastosowanie technologii wodorowej. Dostępnych jest coraz więcej metod zastosowania wodoru, zarówno w produkcji przemysłowej, transporcie, jak i do ogrzewania budynków i gotowania. Jest to dopiero raczkująca technologia, jednak rozwijająca się w bardzo szybkim tempie (Nuttall, Bakkenne, 2020; Parra et al., 2019).

- a) Produkcja stali przy zastosowaniu wodoru może się przyczynić do redukcji o 30% emisyjności w porównaniu z tradycyjną produkcją stali (w piecach martenowskich). Pomyślność tej technologii uzależniona jest jednak od kosztu produkcji wodoru i energii elektrycznej (Bhaskar et al., 2020);
- b) Istnieje możliwość stosowania paliwa wodorowego do ogrzewania budynków i gotowania jako nieemisyjnego źródła, niemniej jednak uzależnione jest to od kosztów produkcji paliwa wodorowego, regulacji prawnych, jak również od usunięcia barier społecznych (Dodds et al., 2015; Scott, Powells, 2020).

III. Magazynowanie ciepła

Magazynowanie energii cieplnej (TES) to technologia, która magazynuje energię cieplną poprzez ogrzewanie lub chłodzenie nośnika, dzięki czemu zgromadzona energia może być później wykorzystana w kwestiach związanych z ogrzewaniem i chłodzeniem oraz do wytwarzania energii. TES jest szczególnie ważny dla magazynowania energii elektrycznej w elektrowniach słonecznych – ciepło może być magazynowane i wykorzystywane do produkcji energii elektrycznej w nocy. Nośnikiem magazynowania ciepła może być materiał zmiennofazowy (PCM) (Sarbu, Sebarchievici, 2018). Zaletą tej technologii jest fakt, że w przypadku nadprodukcji energii elektrycznej (na obszarach bardzo nasłonecznionych) może zostać wykorzystana do wysokoenergochłonnych procesów produkcji, w tym np. produkcji wodoru.

Podsumowanie

Od 2013 r. wartość dodana brutto rynku budowlanego w latach 2013–2019 gwałtownie wzrastała i osiągnęła 192,5 mln EUR. Powoduje to, że sektor budowlany jest najbardziej dynamicznie rozwijającym się ze wszystkich sektorów gospodarki. Emisyjność UE-28 w 2017 r. stanowiła 10,5% globalnych (światowych) emisji CO₂. W krajach europejskich aż 41% zużycia energii powiązane jest z gospodarstwami domowymi, budynkami komercyjnymi i publicznymi. Szacuje się, że te sektory odpowiedzialne są za około 36% emisji CO₂. Jedna trzecia energii pochodzi ze spalania gazu ziemnego, jedna trzecia – z wytwarzania energii elektrycznej, 14% – z OZE i biopaliw, 7% – z ciepłowni lub elektrociepłowni, reszta (2,3%) – z paliw stałych i innych. W krajach europejskich 58% budynków mieszkalnych i ponad 66% budynków komercyjnych wykorzystuje jako główny materiał konstrukcyjny beton, którego składnikiem jest wysokoenergetyczny i wysokoemisyjny cement, będącym regionalnym materiałem budowlanym. Stal konstrukcyjna używana jest w 15% budynków komercyjnych i jedynie prawie 4% budynków mieszkalnych. Szacuje się, że w Europie Zachodniej do 2030 r. powierzchnia budynków wzrośnie o 15% w porównaniu z 2015 r. Powoduje to, że energochłonność i emisyjność w sektorze budownictwa również gwałtownie wzrośnie. Aby temu przeciwdziałać, niezbędne stają się działania prowadzące do ich redukcji.

Redukcję energochłonności (emisyjności) w sektorze budownictwa należy rozpatrywać w dwóch aspektach: operacyjnej, związanej z ogrzewaniem, chłodzeniem, gotowaniem, oświetleniem, używaniem urządzeń w budynkach, oraz związanej ze śladem węglowym materiałów i procesów budowy. W pierwszym przypadku ener-

gochłonność można znacznie zredukować poprzez poprawę termoizolacyjności przegród budowlanych, zarówno istniejących, jak i nowych budynków, ze szczególnym uwzględnieniem aktualnych zmian klimatycznych. Pozwoliłoby to na znaczne zredukowanie energochłonności związanej z ogrzewaniem, która obecnie wynosi 64% dla gospodarstw domowych. Redukcja emisyjności z aktualnych 36% dla gospodarstw domowych i budynków związanych z usługami komercyjnymi i publicznymi możliwa byłaby poprzez zamianę urządzeń wykorzystujących paliwa stałe, płynne lub gazowe na elektryczne. Ta strategia będzie miała sens jedynie wtedy, gdy energia elektryczna będzie wytwarzana ze źródeł niskoemisyjnych. W przypadku istniejących budynków największymi ograniczeniami dla właścicieli/użytkowników mogą się okazać kwestie finansowe, związane z modernizacją istniejących instalacji, jak również przyzwyczajenie do istniejących sposobów ogrzewania – centralne ogrzewanie wykorzystujące paliwa stałe, ciekłe czy gazowe.

Celem minimalizacji śladu węglowego budynków, strategiami, które mogłyby przynieść największe korzyści, są: zwiększenie efektywności materiałowej (redukcja ilości stosowanego materiału); maksymalne wydłużenie użytkowania budynków i ich elementów; stosowanie materiałów niskoenergetycznych/niskoemisyjnych. W przypadku użycia stali, faworyzowane powinno zostać używanie stali pochodzącej z recyklingu. W tym przypadku, energochłonność produkcji jest nawet o 75% mniejsza w porównaniu z produkcją stali z rud żelaza. W przypadku zwiększenia produkcji stali z recyklingu w elektrycznych piecach łukowych emisyjność może znacznie zmaleć, lecz tylko w przypadku produkcji energii elektrycznej z niskoemisyjnych źródeł. Największym problemami mogą się okazać niewystarczająca ilość złomu stalowego do pokrycia zapotrzebowania na stal, niezadowalająca jakość stali z recyklingu, jak również wysokie koszty modernizacji produkcji stali.

W przypadku cementu używanego w betonie (w krajach europejskich 58% budynków mieszkalnych i ponad 66% budynków komercyjnych wykorzystuje beton jako główny materiał konstrukcyjny) istnieje możliwość substytucji cementu poprzez uboczne produkty spalania lub uboczne produkty produkcji stali (głównie z produkcji stali z rud żelaza). W tym przypadku jednak, ze względu na dekarbonizację przemysłu energetycznego oraz minimalizację produkcji stali, brak będzie materiałów służących do substytucji i potrzebne będzie wprowadzenie nowych materiałów, które mogłyby być zastosowane w makroskali. Perspektywicznymi materiałami wydają się być glina kalcynowana i mielony wapień. Glina niestety nie jest uwzględniona w normach budowlanych. Emisyjność produkcji cementu wiąże się w 2/3 z procesami chemicznymi rozkładu węglanu wapnia, dlatego poza zwiększeniem elektryfikacji produkcji czy produkcją klinkieru (składnika cementu) w niższych niż dotychczas temperaturach, niezbędne jest zwiększenie efektywności wykorzystania materiałów cementowych.

Poza dostępnymi technologiami szczególną uwagę należy zwrócić na nowe, innowacyjne, nisko- lub nawet nieemisyjne metody dostarczania energii. W ich skład wchodzi: paliwo wodorowe, odzysk ciepła z instalacji produkcyjnych oraz technologia magazynowania energii cieplnej. Wszystkie trzy mogą w niedalekiej przyszłości stanowić trzon niskoemisyjnej produkcji energii.

Podziękowania:

Chciałbym podziękować Jonathanowi Cullen z *Resource Efficiency Collective* za wsparcie podczas pracy nad tym rozdziałem, Tiffany Vass, Thibaut Abergel i Peterovi Levi z Międzynarodowej Agencji Energetycznej (IEA) za przekazanie niezbędnych danych oraz Iwonie Drynkowskiej za bardzo cenne uwagi merytoryczne i redakcyjne.

Bibliografia

- Acheng, P. O. (2015). *Realistic gravity loading of structures*. (Masters Dissertation). Bath. Pozyskano z: <https://bit.ly/2DNCB2w>
- Allwood, J. M., Cullen, J. M., Carruth, M. A., Cooper, D. R., McBrien, M., Milford, R. L., Moynihan, M. C., Patel, A. C. H. (2012). *Sustainable materials: with both eyes open*. Citeseer.
- Andrew, R. M. (2018). Global CO₂ emissions from cement production. *Earth System Science Data*, 10(1).
- Athena. (2004). *Minnesota Demolition Survey: Phase two Report*. Pozyskano z: http://briscoman.com/sites/default/files/Athena_Demolition_Survey.pdf
- Bhaskar, A., Assadi, M., Nikpey Somehsaraei, H. N. (2020). Decarbonization of the Iron and Steel Industry with Direct Reduction of Iron Ore with Green Hydrogen. *Energies*, 13(3).
- BSI. (2011). BS EN 15978 – Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method. W: IBSI.
- CEN. CEN/TC 350 – Sustainability of construction works. Pozyskano z: <http://bit.ly/2yfMMA0>
- CEN. (2002). *EN 1990: Eurocode: Basis of Structural Design*. Pozyskano z: <https://bit.ly/31IDEZE>
- Colangelo, F., Forcina, A., Farina, I., Petrillo, A. (2018). Life Cycle Assessment (LCA) of Different Kinds of Concrete Containing Waste for Sustainable Construction. *Buildings*, 8(5). doi:10.3390/buildings8050070
- Deloitte. (2018). *Maintaining Momentum? London Office Crane Survey Winter 2018*. Pozyskano z: <https://bit.ly/33Hkrdy>
- Deloitte. (2019). *PPoC 2018 – Global Powers of Construction*. Pozyskano z: <https://bit.ly/3aTB7PY>
- Densley-Tingley, D., Cooper, S., Cullen, J. (2017). Understanding and overcoming the barriers to structural steel reuse, a UK perspective. *Journal of Cleaner Production*, 148.
- Dodds, P. E., Staffell, I., Hawkes, A. D., Li, F., Grünewald, P., McDowall, W., Ekins, P. (2015). Hydrogen and fuel cell technologies for heating: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(5). doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.11.059>
- Drewniok, M. P., Campbell, J., Orr, J. J. (2020). The Lightest Beam Method – a methodology to find ultimate steel savings and reduce embodied carbon in steel framed buildings. *Structures*, 27. doi:<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.06.015>
- Drewniok, M. P., Orr, J. J. (2019). *MEICON – The origins of office floor loading*. Pozyskano z: <https://www.meicon.net/>
- Dunant, C. F., Drewniok, M. P., Eleftheriadis, S., Cullen, J., Allwood, J. (2018a). Regularity and optimisation practice in steel structural frames in real design cases. *Resources, Conservation and Recycling*, 134.
- Dunant, C. F., Drewniok, M. P., Orr, J. J., Allwood, J. M. (2020). Good early stage design decisions can halve embodied CO₂ and lower structural frames' cost. *Structures*, Submitted 20/01/2020.

- Dunant, C. F., Drewniok, M. P., Sansom, M., Corbey, S., Allwood, J. M., Cullen, J. M. (2017). Real and perceived barriers to steel reuse across the UK construction value chain. *Resources, Conservation and Recycling*, 126. doi:10.1016/j.resconrec.2017.07.036
- Dunant, C. F., Drewniok, M. P., Sansom, M., Corbey, S., Cullen, J. M., Allwood, J. M. (2018b). Options to make steel reuse profitable: An analysis of cost and risk distribution across the UK construction value chain. *Journal of Cleaner Production*, 183. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.141>
- EC, EEA. (2019). *Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2017 and inventory report 2019*. EEA/PUBL/2019/051. Pozyskano z: <https://bit.ly/2XIVVoF>
- ECA, Cembureau. (2019). *Activity Report 2018. Built in concrete, Made with cement*. Pozyskano z: <https://cembureau.eu/media/1818/activity-report-2018.pdf>
- Eurofer. (2020). *European Steel in Figures*. Pozyskano z: <https://www.eurofer.eu/assets/Uploads/European-Steel-in-Figures-2020.pdf>
- Eurostat. (2019). *Energy, transport and environment statistics. Statistical Book*. Pozyskano z: <https://bit.ly/33Pc53s>
- Eurostat. (2020a). Gross domestic product at market prices. Pozyskano z: <https://bit.ly/3aUjKP0>
- Eurostat. (2020b). Gross value added at current basic prices, 2009 and 2019 (% share of total gross value added). Pozyskano z: <https://bit.ly/2JS26iF>
- Eurostat. (2020c). Simplified energy balances [nrg_bal_s]. Pozyskano z: <https://bit.ly/3fMNLS9>
- Favier, A., DeWolf, C., Scrivener, K., Habert, G. (2018). *A Sustainable Future for The European Cement and Concrete Industry*. Pozyskano z: https://europeanclimate.org/wp-content/uploads/2018/10/AB_SP_Decarbonisation_report.pdf
- GABC, IEA. (2017). *Global Status Report 2017 – Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector*. Global Alliance for Building and Construction, International Energy Agency. Pozyskano z: <http://bit.ly/2Imepmb>
- GABC, IEA. (2018). *Global Status Report 2018 – Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector*. Global Alliance for Building and Construction, International Energy Agency. Pozyskano z: <http://bit.ly/2Imepmb>
- GABC, IEA. (2019). *Global Status Report 2019 – Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector*. Global Alliance for Building and Construction, International Energy Agency. Pozyskano z: <http://bit.ly/2Imepmb>
- GCP, OE. (2015). *Global Construction 2030. A global forecast for the construction industry to 2030*. Pozyskano z: <https://bit.ly/2PCYK67>
- Golaszewski, J., Kostrzanowska-Siedlarz, A., Ponikiewski, T., Miera, P. (2019). Influence of Multicomponent and Pozzolan Cements Containing Calcareous Fly Ash and Other Mineral Admixtures on Properties of Fresh Cement Mixtures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471, 112024. doi:10.1088/1757-899X/471/11/112024
- Gonzalez-Hernandez, A. (2018). *Site-level resource efficiency analysis*. (PhD). University of Cambridge.
- GUS. (2019). *Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2018 roku*. Pozyskano z: <https://bit.ly/3gJh49K>

- Hradil P., Talja A., Wahlström M., Huuhka S., Lahdensivu J., Pikkuvirta J. (2014). *Re-use of structural elements – Environmentally efficient recovery of building components*. Pozyskano z: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2014/T200.pdf>
- Huuhka, S., Lahdensivu, J. (2016). Statistical and geographical study on demolished buildings. *Building Research & Information*, 44(1). doi:10.1080/09613218.2014.980101
- IEA. (2017). *Energy Technology Perspectives 2017. Catalysing Energy Technology Transformations*. Pozyskano z: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2017>
- IEA. (2018). *Global Energy & CO₂ Status Report. The latest trends in energy and emissions in 2018*. Pozyskano z: <https://www.iea.org/geco>
- IEA. (2019a). *Material Efficiency in Clean Energy Transitions*. Pozyskano z: <https://www.iea.org/publications/reports/MaterialEfficiencyinCleanEnergyTransitions/>
- IEA. (2019b). *Perspectives for the Clean Energy Transition – The Critical Role of Buildings*. Pozyskano z: <https://bit.ly/3acAbGx>
- IEA. (2020). World gross electricity production, by source, 2018. Pozyskano z: <https://bit.ly/3ioPMpp>
- Jouhara, H., Khordehghah, N., Almahmoud, S., Delpéch, B., Chauhan, A., Tassou, S. A. (2018). Waste heat recovery technologies and applications. *Thermal Science and Engineering Progress*, 6. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tsep.2018.04.017>
- Kaynakli, O. (2012). A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1). doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.006>
- Lazzarin, R., Noro, M. (2020). Photovoltaic/Thermal (PV/T)/ground dual source heat pump: Optimum energy and economic sizing based on performance analysis. *Energy and Buildings*, 211, 109800. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109800>
- Lomas, K. J., Porritt, S. M. (2017). Overheating in buildings: lessons from research. *Building Research & Information*, 45(1–2). doi:10.1080/09613218.2017.1256136
- MacKay, D., Bock, M., Cebon, D., Cullen, J., Doig, K., Drewniok, M., Gustafsson, J., Guthrie, P., Hibbert, A., Smith, S., Swallow, P., Symons, K., Tzokova, P., Williams, B. (2020). *Energy Cost Metric. Energy Design Guide for the Civil Engineering Building in West Cambridge. Part 1: Early stage design decisions*. Pozyskano z: <https://www.refficiency.org/category/publications/>
- Marsh, E. (2019). Carbon Certification Systems. Pozyskano z: <https://www.meicon.net/carbon-maps>
- Moynihan, M. C., Allwood, J. M. (2014). Utilization of structural steel in buildings. *Proc. R. Soc. A*, 470(2168), 20140170.
- Nußholz, J. L. K., Rasmussen, F. N., Whalen, K., Plepys, A. (2020). Material reuse in buildings: Implications of a circular business model for sustainable value creation. *Journal of Cleaner Production*, 245, 118546. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118546>
- Nuttall, W. J., Bakenne, A. T. (2020). Deep Decarbonisation – *The Role of Hydrogen*. In *Fossil Fuel Hydrogen*. Springer.

- Orr, J. J., Copping, A., Drewniok, M. P., Emmitt, S., Imbell, T. (2018). *Minimising Energy in Construction – Survey of Structural Engineering Practice*. Pozyskano z: <https://www.meicon.net/survey2018/>
- Orr, J. J., Darby, A. P., Ibell, T. J., Evernden, M. C., Otlet, M. (2011). Concrete structures using fabric formwork. *Structural Engineer*, 89(9).
- Orr, J. J., Drewniok, M. P. (2018). MEICON Rentable floor loading according to data from Letting Agencies. Pozyskano z: <https://www.meicon.net/letting-floor-data/>
- Parra, D., Valverde, L., Pino, F. J., Patel, M. K. (2019). A review on the role, cost and value of hydrogen energy systems for deep decarbonisation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.010>
- Popescu, C. D., Muntean, M., Sharp, J. H. (2003). Industrial trial production of low energy belite cement. *Cement and Concrete Composites*, 25(7).
- Population. (2019). World Population Review 2019. Pozyskano z: <http://worldpopulationreview.com/>
- Purnell, P. (2013). The carbon footprint of reinforced concrete. *Advances in Cement Research*, 25(6).
- Sarbu, I., Sebarchievici, C. (2018). A comprehensive review of thermal energy storage. *Sustainability*, 10(1).
- Schneider, M., Romer, M., Tschudin, M., Bolio, H. (2011). Sustainable cement production – present and future. *Cement and Concrete Research*, 41(7). doi:<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.03.019>
- Scott, M., Powells, G. (2020). Sensing hydrogen transitions in homes through social practices: Cooking, heating, and the decomposition of demand. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(7). doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.025>
- Shanks, W., Dunant, C. F., Drewniok, M. P., Lupton, R. C., Serrenho, A., Allwood, J. M. (2019). How much cement can we do without? Lessons from cement material flows in the UK. *Resources, Conservation and Recycling*, 141. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.002>
- Staněk, T., Sulovský, P. (2015). Active low-energy belite cement. *Cement and Concrete Research*, 68. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2014.11.004>
- statista. (2020). Global cement production 1995–2019. *statista*. Pozyskano z: <https://www.statista.com/statistics/1087115/global-cement-production-volume/>
- Szargut, J., Morris, D. R., Steward, F. R. (1988). *Exergy analysis of thermal, chemical, and metallurgical processes*. Hemisphere.
- UKGBC. (2019). *Net Zero Carbon Buildings: A Framework Definition*. Pozyskano z: <https://bit.ly/3gKaEXJ>
- UKRI. (2015). Innovate UK – Supply chain integration for structural steel reuse. Pozyskano z: <https://gtr.ukri.org/projects?ref=132106>
- UN. (2019). *Probabilistic Population Projections Rev. 1 based on the World Population Prospects 2019 Rev. 1*. Pozyskano z: <http://population.un.org/wpp/>
- Van den Heede, P., De Belie, N. (2012). Environmental impact and life cycle assessment (LCA) of traditional and ‘green’ concretes: Literature review and theoretical calculations. *Cement and Concrete Composites*, 34(4). doi:<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.01.004>

- WorldSteel. (2020). World Crude Steel Production – Summary. *WorldSteel*. Pozyskano z: <https://bit.ly/2KtFdTn>
- WRI. (2017). World Greenhouse Gas Emissions: 2016. *World Resources Institute*. Pozyskano z: <https://bit.ly/3dJ39iJ>
- WSA. (2019a). *Steel Statistical Yearbooks*, WSA. Pozyskano z: <http://bit.ly/2DzmVg3>
- WSA. (2019b). *Steel's contribution to a low carbon future and climate resilient society – Worldsteel position paper*. Pozyskano z: <http://bit.ly/2QLLU5>
- WSA. (2018). *World Steel in Figures 2018*, World Steel Association. Pozyskano z: <https://bit.ly/30ItHvW>
- Yang, K.-H., Jung, Y.-B., Cho, M.-S., Tae, S.-H. (2015). Effect of supplementary cementitious materials on reduction of CO₂ emissions from concrete. *Journal of Cleaner Production*, 103. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.018>
- Yannas, S., Rodríguez-Álvarez, J. (2020). Domestic overheating in a temperate climate: Feedback from London Residential Schemes. *Sustainable Cities and Society*, 59, 102189. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102189>

Streszczenie

Sektor budowlany jest najbardziej dynamicznie rozwijającym się ze wszystkich sektorów gospodarki. Odpowiada również za znaczącą część globalnej energochłonności. Biorąc pod uwagę materiały, procesy budowy i eksploatację (ogrzewanie, chłodzenie, oświetlenie, gotowanie), budynki odpowiedzialne są za 36% globalnego zużycia energii i 39% globalnych emisji CO₂. Prawie 20% pochodzi z produkcji cementu (składnika betonu) i stali wykorzystywanych w konstrukcji budynków. W krajach europejskich 58% budynków mieszkalnych i ponad 66% budynków komercyjnych wykorzystuje zbrojony beton jako główny materiał konstrukcyjny. Ich eksploatacja pochłania 41% europejskiej energii oraz 36% emisji CO₂. Rozdział przedstawia sposoby redukcji energochłonności i emisyjności dla europejskiego sektora budowlanego, zakładając zarówno dostępne, jak i nowe technologie. W większości przypadków przyczyn ograniczeń należy szukać w obszarach społecznym i ekonomicznym, a nie w braku dostępności innowacyjnych technologii.

Słowa kluczowe: energochłonność, emisyjność, budownictwo, ślad węglowy, energochłonność operacyjna.

ENERGY REDUCTION IN CONSTRUCTION

SUMMARY

The construction sector is considered to be the most dynamically developing of all sectors of the economy. It is responsible also for a significant part of global energy consumption and global gas emissions. Structural materials used in buildings, construction processes as well as energy used for building operation (heating, cooling, lighting, cooking) consume 36% of global energy and 39% of global CO₂ emissions, 20% of which represent emissions from cement (a component of concrete) and steel production. In European countries, 58% of residential buildings and 66% of commercial buildings are reinforced concrete. These buildings consume 41% of EU energy and emit 36% of EU CO₂. This chapter presents ways to reduce both energy and emissions in this section assuming both available and new technologies. In most cases, the barriers lie in the social and economic areas rather than the lack of available, innovative technologies.

Keywords: Embodied carbon, operational carbon, energy intensity, construction, reduction.

JEL: L74, O33



Katarzyna Nowicka

Dr hab. Katarzyna Nowicka jest profesorem uczelni w Szkole Głównej Handlowej w Warszawie i kierownikiem Katedry Logistyki. Jej zainteresowania badawcze wywodzą się z doświadczeń zdobytych podczas kilkuletniego zarządzania łańcuchami dostaw w globalnej korporacji farmaceutycznej. Aktualna problematyka jej badań koncentruje się wokół zagadnień związanych z oddziaływaniem technologii cyfrowych na zarządzanie łańcuchem dostaw i kształtowanie nowych modeli biznesu.

<https://orcid.org/0000-0001-7830-7457>

Zielone łańcuchy dostaw 4.0

Wprowadzenie

Dane są najważniejszym „paliwem” współczesnego biznesu. Analiza danych dostarcza informacji, na podstawie których podejmowane są decyzje. Tym samym jakość danych „na wejściu” decyduje o osiąganym na rynku pozycji konkurencyjnej przedsiębiorstwa. Kluczowymi są zatem rodzaj i jakość danych, umiejętność analizy i przełożenia wynikających z nich informacji na działania zmierzające do osiągnięcia celów strategicznych.

Aby móc zamieniać informacje na działania, niezbędne jest w pierwszej kolejności określenie strategii, która predefiniuje zbiór danych poddawanych analizom. Wybór strategii konkurencyjnego modelu biznesu wynika z analiz czynników kształtujących bliższe i dalsze otoczenie, diagnozy ryzyk oraz identyfikacji szans rynkowych. W analizie otoczenia uwzględnia się jego zmienne uwarunkowania, wynikające z czynników ekonomicznych, politycznych, społecznych, technologicznych, regulacyjnych, a także ekologicznych i klimatycznych. Te ostatnie są współcześnie jednym z największych wyzwań dla przedsiębiorców ze względu na fakt, że polityki klimatyczne różnią się w ujęciu globalnym i zmieniają zachowania konsumentów – najważniejszych interesariuszy podmiotów gospodarczych.

„Zmiany klimatu spowodują prawdopodobnie jedne z najgłębszych zmian w przedsiębiorstwach, jakie mogliśmy obserwować w minionych latach. Efekty coraz poważniejszych i częstszych zdarzeń związanych z klimatem potęgowane są przez przyspieszające tempo zmian polityki i przepisów. Ryzyko klimatyczne to coś, z czym mierzą się wszyscy, bez względu na lokalizację, sektor lub status społeczno-ekonomiczny. Zarządzanie ryzykiem klimatycznym i dostosowanie się do zmian będzie kluczowe dla każdej firmy, która chce kontynuować swoją działalność w przyszłości” (*Zarządzanie ryzykiem klimatycznym. Zmiana klimatu w biznesie*, 2019). Przedsiębiorstwa, dostrzegając ten problem, starają się chronić swój majątek, aktywa i łańcuchy dostaw przed gwałtownymi zmianami klimatycznymi, ujawniającymi się w formie coraz częściej występujących huraganów, fal upałów, susz i pożarów obejmujących duże terytoria. Koszty ryzyka klimatycznego są uwzględniane w kalkulacjach coraz większej liczby firm. Można oczekiwać, że w miarę pogłębiania się kryzysu klimatycznego władze państwowe będą wprowadzać coraz bardziej rygorystyczne regulacje dotyczące emisji gazów cieplarnianych. Wzrost opłat za ich emisję będzie wywierać presję na poszukiwanie alternatywnych rozwiązań ograniczających te koszty w ujęciu globalnym (Aldy, Gianfrate, 2019) – także w kontekście całych łańcuchów dostaw.

Sytuacja komplikuje się dodatkowo w przypadku zarządzania łańcuchami dostaw, których głównymi celami są konkurowanie krótkim czasem realizacji zamówienia,

ograniczanie kosztów umożliwiającą proponowanie lepszej ceny i poprawa jakości oferowanych usług w ramach dostarczanych produktów. Zestawienie tych celów z potrzebą realizacji strategii zrównoważonego rozwoju w ujęciu całych łańcuchów dostaw (*end-to-end*) jest bardzo trudne, ponieważ częstokroć są to cele sprzeczne. Dodatkowo, większość łańcuchów dostaw nie jest zintegrowana, przedsiębiorstwa nie dzielą się informacjami i nie wykorzystują nowych technologii w stopniu, który pozwalałby na poprawę ich elastyczności w odpowiedzi na zmienność otoczenia i unikanie ponoszenia zbędnych kosztów.

Warto zauważyć, że szybkości i jakości rozwoju łańcuchów dostaw towarzyszy tempo rozwoju technologii informacyjnych, których zadaniem jest dyfuzja informacji wśród partnerów biznesowych. Tym samym współczesnym rozwiązaniem, które wychodzi naprzeciw wcześniej wymienionym wyzwaniom, są technologie cyfrowe. Dzięki nim można zastosować nowe narzędzia dzielenia się danymi i informacjami w łańcuchach dostaw, umożliwiając nie tylko bardziej konkurencyjne zarządzanie przepływami. Warto je bowiem rozpatrywać przede wszystkim jako zasób wspierający (bądź umożliwiający) realizację strategii tworzenia i użytkowania zielonych łańcuchów dostaw. Przyjmując, że współcześnie to problemy klimatyczne będą silnie determinować strategię przedsiębiorstw, celowe jest zdiagnozowanie kierunku i zakresu rozwoju nowych modeli biznesu łańcuchów dostaw. Przy uwzględnieniu w ich strukturze kluczowej roli technologii cyfrowych pojawia się realna szansa ograniczenia negatywnego wpływu na środowisko działań wynikających z prowadzenia działalności gospodarczej.

Celem opracowania jest próba identyfikacji kolejnej fazy rozwoju modeli biznesu łańcuchów dostaw, które wykorzystując technologie cyfrowe, są w stanie wspierać realizację strategii proekologicznych, a tym samym wyjść naprzeciw wyzwaniom środowiskowym i politykom klimatycznym XXI w. Te modele biznesu można nazwać zielonymi lub zrównoważonymi łańcuchami dostaw 4.0. Ich immanentną (i nową!) cechą jest szeroka perspektywa włączająca proklimatyczne podejście w obszarze przepływów związanych z dostarczaniem produktem, jak i wszystkich pozostałych źródeł pozyskiwanych zasobów wspierających te przepływy, np. zrównoważone źródła energii. Wdrażanie koncepcji zrównoważonych łańcuchów dostaw 4.0 oznacza również niwelację kosztów zewnętrznych, które towarzysząc prowadzeniu działalności gospodarczej, współdecydują o konkurencyjności przedsiębiorstw i łańcuchów dostaw oraz wpływają na wzrost akceptacji społecznej dla przyjętych rozwiązań.

1. Łańcuchy dostaw sterowane informacją

Rola dostępu do informacji jest permanentnym elementem towarzyszącym rozwojowi koncepcji łańcuchów dostaw (i logistyki). Źródłem tej koncepcji upatruje się bowiem w opracowaniu autorstwa J.W. Forreстера, który w publikacji z 1958 r. diagnozował problematykę nadmiaru zapasów w kanałach dystrybucji, wykazując rolę przepływu informacji pomiędzy współdziałającymi przedsiębiorstwami (Forrester, 1958, s. 37–66). Ważna jest też praca W. Aldersona analizująca korzyści odraczenia re-

alizacji usług i alokacji zapasów na dalszych szczeblach dystrybucji (Alderson, 1957). Do rozwoju koncepcji łańcuchów dostaw przyczyniły się także pierwsze prace z zakresu logistyki, opublikowane pod koniec lat 60. XX w. D.J. Bowersox i A. Slater badali np. pojęcie logistyki zintegrowanej, dla której podstawą była współpraca wewnątrzna w przedsiębiorstwie i z zewnętrznymi partnerami, tj. dostawcami oraz klientami, w celu koordynacji łączących te ogniwa przepływów (Bowersox, 1969; Slater 1976, s. 71–112; Szymczak, 2015, s. 16).

Należy zauważyć, że wspomniany dostęp do informacji był wówczas ograniczony niskim poziomem zaawansowania technologii informacyjnych (Nowicka, 2019). Analizując rozwój tych technologii, można nawet stwierdzić, że wysokie tempo rozwoju technologii informacyjnych silnie stymulowało tempo rozwoju i jakość konkurencyjności łańcuchów dostaw.

Warto podkreślić rosnącą w skali globalnej złożoność przepływów pomiędzy współpracującymi partnerami (ogniwami), które w rzeczywistości tworzą sieć funkcjonującą w zróżnicowanym otoczeniu. Partnerzy ci mają wspólny cel dostarczenia określonych wartości najważniejszym interesariuszom, czyli konsumentom. Bardzo często takie sieci są rozwijane dzięki coraz powszechniejszemu dostępowi do Internetu, zarówno podmiotów prowadzących działalność gospodarczą, jak i gospodarstw domowych.

Model biznesu łańcucha dostaw natomiast może być rozumiany jako sposób, w jaki tworzona i dostarczana jest wartość w określonych warunkach otoczenia poprzez dostępne zasoby, które umożliwiają jej wykorzystywanie pojawiających się szans (Nowicka, 2019, s. 85–92). Wartością może być tu możliwość komponowania najbardziej adekwatnego dla danego konsumenta produktu (towaru i towarzyszącej mu usługi) będąca sposobem na kastomizację oferty rynkowej. Głównym celem zarządzania łańcuchem dostaw jest natomiast minimalizacja całkowitych kosztów przepływu produktów i informacji, przy zachowaniu pożądanego przez klientów poziomu jakości dostawy oraz zapewnienie możliwie najkrótszego czasu realizacji dostawy przy zachowaniu najwyższej niezawodności, elastyczności i częstotliwości dostaw, przy niezmiennym poziomie kosztów (Witkowski, 2010, s. 30)¹.

Aby móc zrealizować tak postawione cele, niezbędnym jest dostęp do informacji², która jest kluczowym czynnikiem sukcesu w zarządzaniu łańcuchem dostaw (Chopra, Meindl, 2013) i punktem odniesienia do ograniczania ryzyka, a zatem kosztów ponoszonych na zabezpieczenie się przedsiębiorstwa przed zdarzeniami trudnymi do przewidzenia. Dostęp do informacji nabiera szczególnego znaczenia w sytuacji konkurowania w środowisku o znacznej dynamice zmian. Zmiany powodują bowiem wzrost niepewności ze względu na zakłócenia wobec dotychczasowej wiedzy i do-

¹ Można przyjąć, że istotą treści wskazanego celu jest minimalizacja kosztów transakcyjnych i transformacyjnych współpracujących w ramach danego modelu biznesu łańcucha dostaw przedsiębiorstw.

² Informacja jest to „zbiór wyselekcjonowanych danych, przetworzonych i przedstawionych w postaci, która może być użyteczna dla jej odbiorcy (np. decydenta). Podstawowym warunkiem użyteczności informacji jest możliwość jej interpretacji w określonym kontekście. W praktyce oznacza to możliwość wykorzystania informacji w celu znalezienia odpowiedzi na proste pytania typu: kto? co? gdzie? oraz kiedy?” (Bukowski, 2016, s. 46).

świadczeń przedsiębiorstwa (Mithas, Ramasubbu, Sambamurthy, 2011, s. 237–256). Dostęp do informacji wpływa natomiast na możliwość skracania czasu reakcji, ograniczając koszty, poprawiając zdolność reagowania i usprawniając proces podejmowania decyzji (Handfield, Nichols, 2002). Na istotność tej sytuacji zwrócił już w 1992 r. uwagę J. Goddard, który przy analizie przejścia od tradycyjnego społeczeństwa do społeczeństwa informacyjnego podkreślił, że informacja staje się kluczowym zasobem strategicznym, od którego zależy działalność organizacji, a komputer i oprogramowanie oraz technologie komunikacyjne tworzą infrastrukturę, która umożliwia jej przesyłanie oraz przetwarzanie (Hejduk, 2018, s. 65).

Podczas analizy problematyki dostępu do informacji w szerszym kontekście, uwagę zwraca koncepcja zarządzania przedsiębiorstwem oparta na informacjach (ang. *Information-based Perspective on the Firm*), w której wymienia się m.in. perspektywę zasobową, zarządzanie wiedzą i jakość informacji (Ghasemkhani, Soule, Westerman, 2014, s. 4–5). Różnorodność zasobów i ograniczona do nich dostępność jest podstawą do definiowania zakresu wartości strategicznej danego zasobu, wpływając w efekcie na stabilną przewagę konkurencyjną. Szczególnym zasobem są tu informacje, ponieważ stanowiąc zasób wartościowy i rzadki, zapewniają przewagę konkurencyjną. Informacje powstają na podstawie gromadzenia, przetwarzania, filtrowania i indeksowania danych. Proces ten ma na celu pozyskiwanie informacji wspierających podejmowanie decyzji zarządczych, czyli *de facto* zarządzania wiedzą w organizacji w sposób ograniczający ryzyko biznesowe. Ważna jest także umiejętność wyboru, oceny i tworzenia wiedzy użytecznej z punktu widzenia przedsiębiorstwa, dążącej jednocześnie do eliminacji problemu asymetrii informacji³. W zarządzaniu informacją istotna jest też eliminacja danych nieprawdziwych i sprzecznych oraz uściślenie ich definicji, a także ocena niepewności informacji oparta na dostępnych danych o określonej niedokładności, niekompletności, wiarygodności i aktualności. Ważna jest tym samym również jakość danych poddawanych przetwarzaniu i eliminacja tych, które nie dodają wartości lub mogą informacje zniekształcać (tzw. *dirty data*, *orphaned data* i *dark data*⁴). Proces ten zmierza do osiągnięcia dostępu do informacji posiadającej wartość użytkową. Warunkiem użyteczności jest zdolność do wypełniania najważniejszych funkcji informacji na odpowiednim poziomie jakości. Ponadto przetwarzanie dużych zbiorów danych jest w stanie tworzyć wartość przez (Płoszajski, 2013, s. 6–7):

- czynienie informacji przejrzystymi i dostępnymi z większą częstotliwością,

³ Jest to paradoks polegający na tym, że nabywca dopóki nie otrzyma danej informacji, dopóty nie będzie znał jej treści; a z drugiej strony jak ją już pozna, to może nie być zainteresowany zapłatą za nią (Surma, 2017, s. 59).

⁴ *Dirty data* to dane zawierające wiele błędów o różnym charakterze i pochodzące z nie zawsze rozpoznanych źródeł, możliwe do częściowego wykorzystania dzięki procesowi oczyszczania. *Orphaned data* to pojedyncze, wyrwane z kontekstu dane, których istotność i przydatność jest trudna do oceny. *Dark data* to dane, których autora, miejsce i czas powstania jest zazwyczaj trudno zidentyfikować, często nie wiadomo, czego dotyczą i nie można ich powiązać z innymi danymi, zwykle nie mają określonej struktury, wewnętrznego porządku, mają surowy, nieprzetworzony charakter (Migdał-Najman, Najman, 2017, s. 131–139; Golik-Górecka, 2017, s. 43–54).

- tworzenie i składowanie większej liczby informacji o transakcjach w formie cyfrowej dla lepszego badania efektywności działań,
- tworzenie precyzyjniejszych nisz klienckich i lepiej dopasowanych do nich produktów i usług,
- wspomaganie rozwoju następnych generacji produktów i usług,
- prowadzenie kontrolowanych eksperymentów.

Warto też zaznaczyć, że celem zarządzania informacją jest pomaganie organizacjom w tworzeniu, uzyskiwaniu dostępu, przetwarzaniu i wykorzystywaniu informacji, tak aby mogły one efektywniej oraz wydajniej realizować przyjęte cele. Dlatego uzyskane z opóźnieniem, niekompletne lub zniekształcone informacje mogą powodować poważne problemy w łańcuchach dostaw (Chow et al., 2008, s. 665–679). Z tego względu, w literaturze przedmiotu, aprobowane jest twierdzenie, że informacja ma kluczowe znaczenie dla sukcesu w zarządzaniu łańcuchem dostaw (Chopra, Meindl, 2013). Można zatem przyjąć, że konkurencyjne łańcuchy dostaw są sterowane informacją (ang. *information-driven supply chain*).

Rozpatrując łańcuch dostaw w ujęciu holistycznym, warto wskazać w jego modelu tzw. informacyjny punkt rozdzielania (ang. *information decapuling points*), czyli miejsce, do którego dociera niezniekształcona informacja o wymaganiach konsumentów. Punkt ten pozwala rozdzielić planowanie produkcji w przedsiębiorstwach łańcucha, na podstawie prognozy bądź rzeczywistego portfela zleceń (Olhager, Selldin, Wikner, 2005), i przez to uzyskać korzyści z działalności łańcucha dostaw jako całości.

W celu dzielenia się informacją przedsiębiorstwa zacieśniają współpracę, wchodząc w partnerstwa (Lummus, Vokurka, 1999, s. 11–17), podejmując działania na rzecz integracji (Prajogo, Olhager, 2012, s. 514–522) i obdarzając się zaufaniem (Mayer, Davis, Schoorman, 1995, s. 73). Dzieje się tak, ponieważ współpraca, której podstawą jest wymiana informacji, łączy się z szeregiem korzyści, wśród których można wymienić ograniczenie kosztów (Kohli, Jensen, 2010, s. 2–16), skrócenie czasu realizacji zamówienia oraz poprawę obsługi klienta i jego zadowolenia (Barratt, Oliveira, 2001, s. 266–289), poprawę wyników w obrębie harmonogramowania (Danese, 2013), zwiększoną elastyczność (Kim, Kumar, Kumar, 2010, s. 187–195), poprawę rentowności i konkurencyjności na rynku (Barratt, 2004, s. 30–42; Flynn, Huo, Zhao, 2010, s. 58–71). Przedsiębiorstwa, włączając się w realizację polityki klimatycznej, w coraz większym zakresie wymieniają informacje o wielkości emisji gazów cieplarnianych, tworząc wspólnie tzw. ślad węglowy w całym łańcuchu dostaw.

Mając na uwadze rolę informacji w zarządzaniu łańcuchami dostaw, należy podkreślić, że ich źródłem nie są jedynie ogniwa łańcucha, ale również otoczenie. Uwarunkowania otoczenia kształtują strategię przedsiębiorstwa i łańcucha dostaw, a tempo zmian w otoczeniu przekłada się na decyzje i zmiany w łańcuchach dostaw. Współcześnie jedną z głównych ról odgrywają zmiany środowiskowe i polityki klimatyczne. Oddziałują one na łańcuchy dostaw, zarówno pod względem doboru partnerów, struktury zasobów wykorzystywanych do realizacji celów, jak i konieczność uwzględniania negatywnych efektów zewnętrznych w prowadzonej działalności gospodarczej – ze szczególnym uwzględnieniem roli działań logistycznych, w tym transportu.

2. Polityka klimatyczna jako czynnik otoczenia i źródło informacji

W trakcie pandemii COVID-19 wystąpiły zupełnie nieoczekiwane zdarzenia, co spowodowało, że wiele prognoz dotyczących rozwoju gospodarki przestało być aktualnych. Skokowy spadek aktywności gospodarczej uwidacznia znacznie mniejszy ruch środków transportu przeznaczonych do przewozu ładunków oraz prawie całkowity brak ruchu samochodów osobowych. Przy drastycznej redukcji przebiegów samochodów, pociągów, statków morskich i śródlądowych oraz przy prawie całkowitym zatrzymaniu lotów pasażerskich nastąpiło znaczne ograniczenie emisji zanieczyszczeń oraz gazów cieplarnianych. W wielu regionach świata, m.in. we Włoszech, wystąpiła spektakularna poprawa jakości powietrza. Ludność tych regionów uświadomiła sobie, że stałe zwiększanie ruchu środków transportu zasilanych paliwami pochodzenia organicznego prowadzi do coraz bardziej odczuwanego pogarszania warunków życia człowieka oraz otaczającego go środowiska. Coraz ważniejsza w minionych latach idea walki o strukturalne zmiany w systemach logistycznych, prowadzące do zmniejszenia emisji, staje się atrakcyjna dla coraz liczniejszych grup społecznych, w tym dla inwestorów i menedżerów zaangażowanych w funkcjonowanie łańcuchów dostaw. Z tego powodu kwestia przyspieszenia realizacji celów polityki klimatycznej staje się elementem dyskusji, czy podczas „odmrażania” gospodarki w kolejnej fazie pandemii COVID-19 można zastąpić „odbudowę” łańcuchów dostaw procesem „strategicznej odnowy” powiązanej z wprowadzaniem rozwiązań bardziej ekologicznych i proklimatycznych niż rozwiązania tradycyjnie stosowane do początku 2020 r.

Prognozowany (przed pandemią) przez OECD światowy wzrost gospodarczy będzie miał wpływ na globalne zapotrzebowanie na transport towarowy, które do 2050 r. ma przekroczyć 351 bln tonokilometrów, co w porównaniu do niecałych 108 bln w 2015 r. oznacza wzrost o 226%. Związane z tym emisje CO₂ mają się zwiększyć o 118%, a przewóz towarów będzie emitował niemal tyle samo zanieczyszczeń, co ruch pasażerski. Największy wzrost popytu szacowano dla sektora lotniczego (363%), śródlądowego transportu wodnego (265%) i frachtu morskiego (245%), który w 2050 r. będzie obsługiwał ponad 74% światowego handlu. Powiększą się także globalne przewozy drogowe (o 197%) i kolejowe (o 134%). Natomiast największy wzrost zanieczyszczeń ma wystąpić w międzynarodowej żegludze morskiej (163%) i w transporcie lotniczym (129%), mniejszy w śródlądowym transporcie wodnym (113%), w przewozach drogowych (94%) oraz na kolei (73%). Według tych prognoz procentowy udział emisji z międzynarodowego transportu towarowego w globalnej puli CO₂, pochodzącej z całego transportu, miałyby się zwiększyć z obecnych 36% do 48% w połowie XXI w. (Oflakowski, 2020). Ze względu na sytuację związaną z pandemią i spodziewane zmiany w funkcjonowaniu łańcuchów dostaw przedstawione wartości zapewne ulegną stosownej weryfikacji. Niemniej jednak należy zwracać uwagę na relacje pomiędzy popytem na usługi transportowe a poziomem emisji CO₂ w transporcie towarów. Jest to bowiem istotny czynnik kształtujący również jakość życia niezaangażowanych w ten proces.

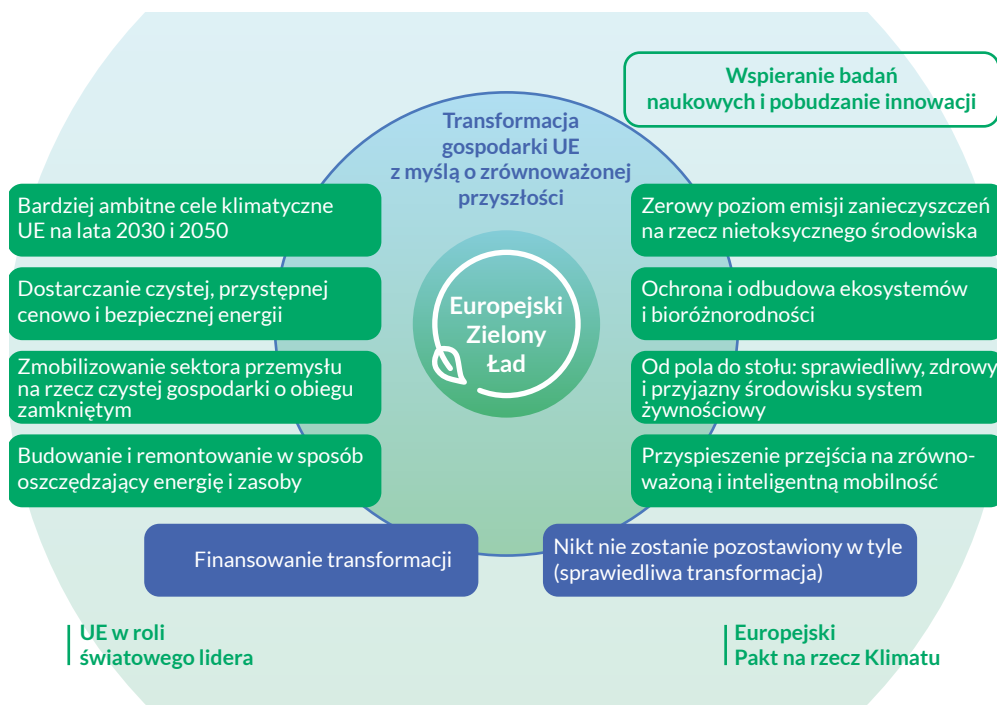
Zwiększające się zapotrzebowanie na transport wpływa na wzrost tzw. efektów zewnętrznych transportu. Odnoszą się one do sytuacji, w której użytkownik transpor-

tu albo nie płaci wszystkich kosztów związanych z procesem transportowym (w tym kosztów środowiskowych, kongestii czy wypadków drogowych), albo nie otrzymuje pełnych korzyści z nimi związanych (European Commission, 1995). Ma to miejsce najczęściej wtedy, gdy podmioty użytkują wspólnie zasoby, dla których brak jasno sprecyzowanych praw własności (Baumol, Oates, 1988).

Negatywny wpływ transportu i innych działań logistycznych, tj. procesów magazynowania czy działalności produkcyjnej, tworzących efekty zewnętrzne łańcuchów dostaw na środowisko, stymuluje prace nad politykami klimatycznymi i regulacjami zmierzającymi do wzrostu zainteresowania przedsiębiorców rozwiązaniami proekologicznymi. Jak wcześniej zaznaczono, czynniki ekologiczne są bowiem jednym z elementów makrootoczenia wpływającymi na zarządzanie łańcuchami dostaw i kształtującymi uwarunkowania ich konkurowania (*The ripple effect. How manufacturing and retail executives view the growing challenge of supply chain risk*, 2013, s. 5). Należy podkreślić, że otoczenie, oddziałując z różną siłą i w różnym tempie, współtworzy modele biznesu łańcuchów dostaw – z jednej strony wychodzących naprzeciw zmianom krótko- lub średniookresowym, z drugiej strony – odpowiadających na zdarzenia pojawiające się *ad hoc* (tzw. czarne łabędzie). Tym samym łańcuchy dostaw, których modele są w stanie szybko reagować na zmienność otoczenia, mają większą szansę na lepszą pozycję konkurencyjną.

Pewne kierunki zmian dążące do uwzględniania problemu wpływu na środowisko i oddziałujące na modele biznesu łańcuchów dostaw można było znaleźć już w Białej Księdze z 2011 r. – *Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu* (Komisja Europejska, 2011). Została w niej bowiem przedstawiona polityka zrównoważonego rozwoju europejskiego transportu, w której podkreślono, że jest on fundamentem europejskiej gospodarki i społeczeństwa, a mobilność towarów i ludzi jest niezwykle ważna. Dlatego należy umożliwić wzrost rozwoju transportu i wspierać mobilność, a jednocześnie dążyć do obniżenia emisji nawet o 60%. W tym celu konieczne jest utworzenie nowego wzorca transportu, który pozwoli, aby odbywał się on „za pomocą najwydajniejszych środków lub kombinacji takich środków” (Komisja Europejska, 2011). Dalszy rozwój transportu w UE ma się opierać na trzech podstawowych założeniach, tj. zwiększeniu efektywności energetycznej pojazdów; optymalizacji działań multimodalnych łańcuchów logistycznych; większym zaangażowaniu systemów zarządzania ruchem i informacjami.

Jednym z bieżących dokumentów dedykowanych omawianej problematyce, który został opublikowany pod koniec 2019 r., jest tzw. Europejski Zielony Ład (*European Green Deal*). Jest to dokument zawierający plan działań umożliwiających bardziej efektywne wykorzystanie zasobów, dzięki przejściu na czystą gospodarkę o obiegu zamkniętym, przeciwdziałanie obniżeniu poziomu różnorodności biologicznej i zmniejszenie poziomu emisji zanieczyszczeń oraz gazów cieplarnianych. Omówiono w nim niezbędne inwestycje i dostępne narzędzia finansowe oraz wyjaśniono, w jaki sposób zapewnić transformację, która będzie sprawiedliwa i sprzyjająca włączeniu społecznemu. Główne założenia Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ) przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Założenia Europejskiego Zielonego Ładu

Źródło: Komisja Europejska. (2019). *Europejski Zielony Ład*. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. COM(2019) 640 final. Bruksela: Komisja Europejska. Pozyskano z:

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640&from=DE>

Zgodnie z założeniami EZŁ, do 2050 r. gospodarka w krajach członkowskich UE ma być regionem neutralnym dla klimatu. Osiągnięcie tego celu będzie wymagało działań we wszystkich sektorach gospodarki. Obejmą one inwestycje w technologie przyjazne dla środowiska, wspieranie innowacji przemysłowych, wprowadzanie czystszych, tańszych i zdrowszych form transportu prywatnego i publicznego, obniżenie emisyjności sektora energii, zapewnienie większej efektywności energetycznej budynków, współpracę z partnerami międzynarodowymi w celu poprawy światowych norm środowiskowych (https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_pl).

Dodatkowo Komisja Europejska wydała szereg dokumentów, które mają związek z promowaniem gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ), wymuszając na państwach członkowskich stopniowe wprowadzanie zmian w tym zakresie. Należy zaznaczyć, że duże znaczenie w popularyzacji idei GOZ ma również rosnąca świadomość konsumentów, którzy – jak zaznaczono – są najważniejszymi interesariuszami konkurencyjnych łańcuchów dostaw.

Sama koncepcja gospodarki obiegu zamkniętego współgra z istotą łańcuchów dostaw związaną z zarządzaniem przepływami. W efekcie upowszechnianie kon-

cepcji GOZ stymuluje rozwijanie nowych modeli biznesu łańcuchów dostaw cykli zamkniętych (ang. *closed loop supply chains*). Motywacją do rozwoju tych modeli są szacunki oczekiwanych korzyści wynikających z przejścia do modelu gospodarki o obiegu zamkniętym. Przygotowując owe estymacje (przetawione poniżej), założono, że koncepcja systemu mobilności w GOZ oferuje większy wybór możliwości transportu, tj. współdzielenie, elektryfikację, pojazdy autonomiczne, rozwiązania multimodalne i maksymalizujące wykorzystanie miejsca podczas podróży (także tras powrotnych organizowanych w systemie obiegu zamkniętego). Zindywidualizowana mobilność byłaby świadczona jako usługa (ang. *Mobility as a Service, MaaS*) (Nowicka, 2017, s. 53–54), a lepsza integracja systemu transportowego sprawiłaby, że większość podróży byłaby multimodalna. Zmiany te oznaczałyby mniej lepiej wykorzystywanych samochodów, z takimi pozytywnymi skutkami ubocznymi, jak mniejsze zatłoczenie, mniej gruntów i inwestycji związanych z parkowaniem i drogami oraz mniejsze zanieczyszczenie powietrza. W tym systemie koszt na pasażerokilometr może obniżyć się do 2050 r. nawet o 80% (*Growth within circular economy vision for a competitive Europe*, 2015, s. 27).

Uwzględniając opisane założenia dotyczące zmian w mobilności, przygotowano dwie perspektywy wpływu gospodarki o obiegu zamkniętym na poziom emisji CO₂, tj. krótkoterminową – do 2030 r. i o dłuższym okresie – do 2050 r., w których wyliczono (*Growth within circular economy vision for a competitive Europe*, 2015):

- wzrost dochodu przeciętnego europejskiego gospodarstwa domowego o 18% do 2030 r. i o 44% do 2050 r. (wobec wzrostu o 7% do 2030 r. i o 24% przy obecnym scenariuszu);
- wzrost PKB UE o 11% do 2030 r. i o 27% do 2050 r. (wobec wzrostu na poziomie 4% do 2030 r. i 15% wzniesie do 2050 r. – przy obecnym scenariuszu);
- spadek emisji dwutlenku węgla o 47% do 2030 r. i o 83% do 2050 r.;
- spadek wykorzystywanych w rolnictwie nawozów syntetycznych o 80% do 2050 r.;
- spadek konsumpcji surowców i półproduktów (materiałów wykorzystywanych do produkcji samochodów, budowlanych, nawozów syntetycznych, pestycydów, wody wykorzystywanej w rolnictwie, paliw i energii ze źródeł nieodnawialnych) o 32% do 2030 r. i o 53% do 2050 r.;
- spadek emisji dwutlenku węgla pochodzącego z mobilności o 55% do 2030 r.; do 2050 r. sektor mógłby zostać prawie całkowicie zdekarbonizowany (95%), ze względu na elektryfikację i zasilanie energią odnawialną taboru pojazdów transportu publicznego.

Działania wspierające ochronę klimatu są też jednym z głównych celów Agendy na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju 2030 przyjętej przez Zgromadzenie Ogólne ONZ w 2015 r. (*Przekształcamy nasz świat: Agenda na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030*, 2015). Warto zauważyć, że na 103 ze 169 Celów Zrównoważonego Rozwoju mają wpływ technologie cyfrowe, a ich efektywne wykorzystanie przyspieszy postęp realizacji tych celów o 22% (*Nowoczesne technologie mogą przyspieszyć postęp w przeciwdziałaniu zmianom klimatycznym o 22 proc.*). Technologiami kluczowymi w realizacji celów Agendy i wspierającymi zrównoważony rozwój będą: *cloud computing*, sztuczna

inteligencja i rozwiązania kognitywne, *blockchain*, sieć 5G, Internet rzeczy oraz wirtualna rzeczywistość. Te technologie mogą zwiększać postępy w realizacji założeń Agendy 2030 na kilka kluczowych sposobów, tj.:

- łącząc i wspierając komunikację, ułatwiając nawiązywanie relacji, zbierając informacje, pomysły i możliwości;
- monitorując otoczenie i śledząc wpływ działań organizacji oraz ludzi na środowisko;
- analizując duże zbiory danych i informacji, optymalizując procesy, procedury i zasoby oraz przewidując miejsca interwencji;
- zwiększając możliwości człowieka i automatyzując systemy, tym samym tworząc pomost między światem fizycznym i cyfrowym.

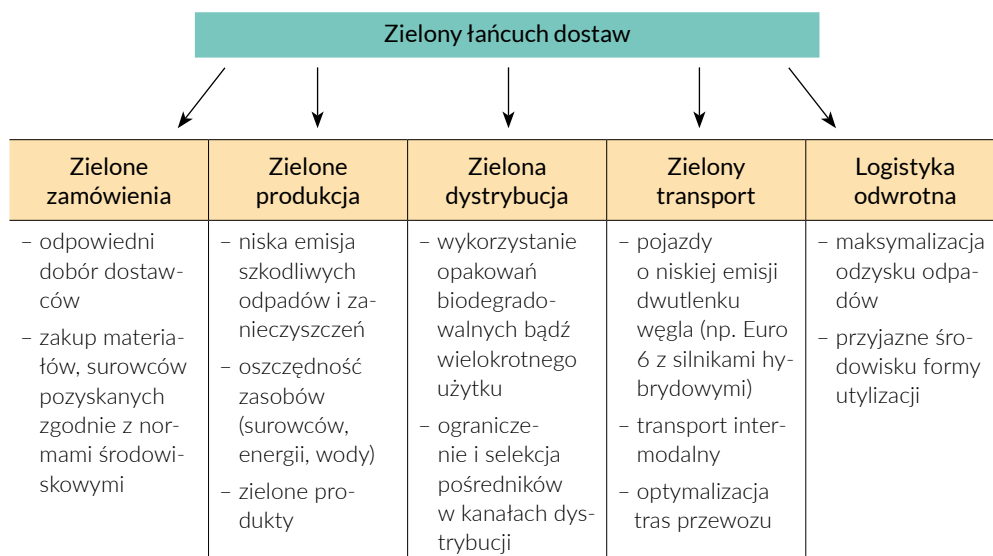
Doświadczenia zgromadzone podczas pandemii COVID-19 dają podstawę dla rozszerzenia powyższej listy o upowszechnienie pracy w domu oraz edukacji na odległość. Spodziewane jest utrzymanie tych form aktywności społecznej po zniesieniu administracyjnej blokady mobilności ludności. W efekcie może być uzyskana licząca się redukcja ruchu środków transportu i związany z nią spadek emisji zanieczyszczeń oraz gazów cieplarnianych.

Dynamiczny rozwój technologii cyfrowych na całym świecie wiąże się z gwałtownym wzrostem powszechnego zastosowania urządzeń i maszyn. To z kolei będzie powodowało zwiększenie zużycia energii elektrycznej oraz większą liczbę elektrośmieci. Szacuje się, że wykorzystanie energii przez technologie informacyjno-komunikacyjne może mieć wpływ na wzrost emisji gazów cieplarnianych o 11% do 2030 r. (*Nowoczesne technologie mogą przyspieszyć postęp w przeciwdziałaniu zmianom klimatycznym o 22 proc.*). Także z tego względu konieczne może być oparcie gospodarek na odnawialnych źródłach energii (OZE) oraz np. wdrożenie efektywnych metod odzyskiwania surowców z e-śmieci. Według autorów Agendy 2030 w obecnym tempie realizacji jego założeń nie sprostą się takim problemom, jak: rosnąca emisja gazów cieplarnianych, narastające nierówności społeczne czy nadmierne wykorzystywanie surowców naturalnych. Tym samym istotne jest jednoczesne analizowanie rozwoju wykorzystania technologii w kontekście ich wielopłaszczyznowego oddziaływania na środowisko. Ważne jest też podejmowanie współpracy na wielu szczeblach, w którą zaangażują się różne grupy interesariuszy, tj. rządy, inwestorzy instytucjonalni, organizacje pozarządowe i obywatele. Poprzez swoje decyzje mają oni bowiem wpływ na kształtowanie czynników otoczenia stymulujących kierunki rozwoju modeli biznesu łańcuchów dostaw.

3. Modele biznesu zielonych łańcuchów dostaw 4.0 jako etap w ewolucji łańcuchów dostaw uwzględniający potrzebę ochrony środowiska

Kryzysy ekonomiczne i środowiskowe już od jakiegoś czasu mają wpływ na popularyzację idei ekologicznych, zarówno na poziomie pojedynczych przedsiębiorstw, jak i całych łańcuchów dostaw (Baraniecka, 2015, s. 241). W literaturze przedmiotu istnieje szerokie spektrum koncepcji budowania bądź rozwijania modeli biznesu łań-

cuchów dostaw, których operacje projektowane są z założeniem ograniczania negatywnego wpływu na środowisko. W efekcie mówi się o zielonych, zrównoważonych, odpowiedzialnych, ekologicznych, ekologistycznych, odwrotnych czy też o cyklach zamkniętych łańcuchach dostaw (Witkowski, Pisarek, 2017, s. 19). Jedną z pierwszych koncepcji zielonego łańcucha dostaw była koncepcja zaproponowana w 1996 r. przez *Manufacturing Research Consortium* z Michigan State University w USA, dotycząca kompleksowego przedstawienia związków między środowiskiem a optymalizacją produkcji w łańcuchu dostaw. Głównym założeniem było zminimalizowanie negatywnego wpływu na środowisko poprzez śledzenie produktu przez cały jego cykl życia, a także monitorowanie produktów wycofanych z obiegu. W takim ujęciu zarządzanie zielonym łańcuchem dostaw jest związane z pełnym cyklem projektowania, produkcji, pakowania, sprzedaży, użytkowania i recyklingu, z uwzględnieniem procesów magazynowania, transportu i wymiany informacji, które powinny spełniać właściwe normy środowiskowe (Srivastave, 2007, s. 53–80). Model biznesu zielonego łańcucha dostaw charakteryzuje się niską emisją zanieczyszczeń, a ochrona środowiska jest wpisana w cały jego proces, począwszy od pozyskania materiału, a skończywszy na dostarczeniu finalnego produktu i gospodarce odpadami (Rys. 2) (Witkowski, Pisarek, 2017, s. 19).



Rys. 2. Części składowe zielonych łańcuchów dostaw

Źródło: Witkowski, J., Pisarek A. (2017). Istota zielonych łańcuchów dostaw – propozycja systematyzacji pojęć. *Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*, 315, s. 22.

Jak pokazuje rysunek 2, zarządzający dysponują szerokim zbiorem działań proekologicznych ulokowanych w zasadzie na każdym etapie procesu przepływów w łańcuchu dostaw. Wszystkie te działania składają się na tworzenie globalnych kosztów zewnętrznych łańcucha dostaw, a ich poziom wynika m.in. ze współzależności

efektów decyzji dotyczących działań logistycznych, np. wybór mniej emisyjnej kolei (A. McKinnon, 2016) prowadzi do większej emisji w obszarze utrzymywania zwiększonych zapasów. Ponadto koszty zewnętrzne ponoszone w łańcuchach dostaw wynikają z uwarunkowań rynkowych (np. zmian w poziomie popytu, przepustowości i pojemności infrastruktury po stronie odbiorcy), stosowanych praktyk (np. dostawy dokładnie na czas, jakość koordynacji sekwencji dostawa-produkcja-dystrybucja, współdzielenie infrastruktury logistycznej, brak przejrzystości przepływów w łańcuchu dostaw), regulacji (np. wielkość i masa pojazdu, zasady bezpieczeństwa, kabo- taż), cech wykorzystywanych zasobów (np. jakość opakowania, podatność transportowa ładunków i dopasowanie środków transportu), charakterystyki infrastruktury (np. niezawodność harmonogramów dostaw, dostępność miejsc załadowczo-rozładunkowych).

Dodatkowo nowe podejście do zarządzania łańcuchem dostaw rozszerza tradycyjnie pojmowane procesy o zintegrowane myślenie i działania, które nie kończą się wraz z dostarczeniem produktu konsumentowi. Obejmują one również kwestie związane ze sposobem wykorzystywania produktu i procesami zagospodarowania po zakończeniu użytkowania (Tundys, 2015, s. 293–294). Kolejnym krokiem i rozwinięciem logistyki odzysku, zmierzającym do zniwelowania negatywnego wpływu działań podejmowanych w ramach zarządzania łańcuchem dostaw, jest bowiem wdrażanie koncepcji wspomnianych łańcuchów dostaw obiegu zamkniętego. W tym podejściu wykorzystuje się zróżnicowane sposoby „domykania pętli” przepływu towarów poprzez ponowne ich użytkowanie, recykling, przetworzenie i powrót do obiegu tego samego lub zmodyfikowanego produktu. Przejście od liniowego łańcucha dostaw (wyprodukuj-zużyj-wyrzuć) do łańcucha o obiegu zamkniętym (wyprodukuj-zużyj-wykorzystaj ponownie) wymaga jego restrukturyzacji, w której kluczowym elementem jest faza projektowania. Istotność tej fazy wynika z faktu, że dotyczy ona zarówno komponentów samego produktu, jak i poszczególnych procesów przebiegających wzdłuż (a w zasadzie w pętli) łańcucha dostaw. Tym samym są to zmiany o charakterze systemowym i strategicznym zmieniające jednocześnie poszczególne elementy modelu biznesu łańcucha dostaw.

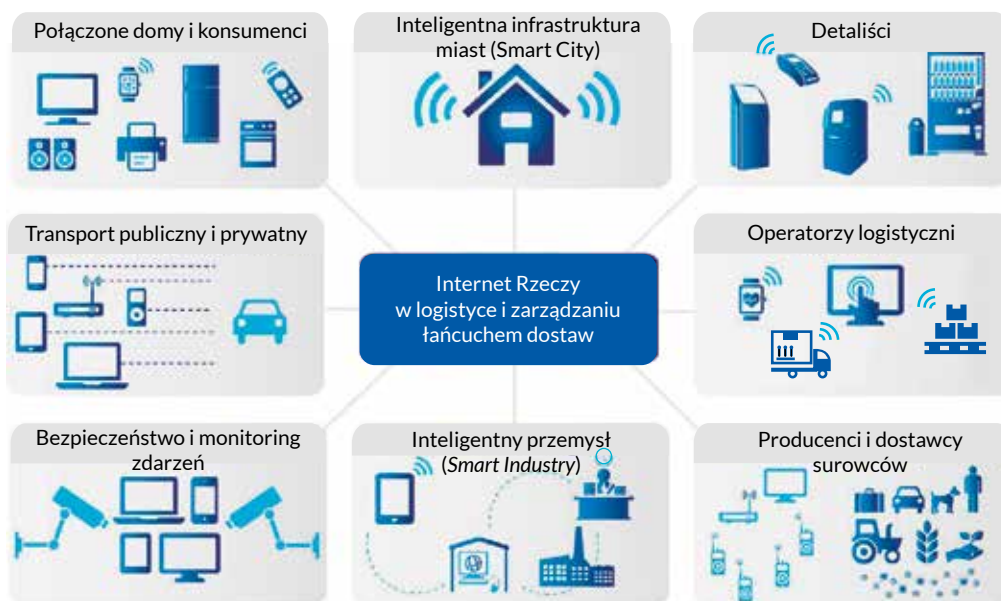
Warto podkreślić, że wymienione zmiany o charakterze strategicznym nie są powszechne i są w głównej mierze inicjatywą wybranych menedżerów zarządzających łańcuchami dostaw. W praktyce brakuje bowiem jednoznacznych regulacji związanych z zasadami egzekwowania realizacji działań logistycznych w sposób ograniczający ich negatywny wpływ na środowisko. W efekcie tworzenie kultury proekologicznej i podejmowanie działań przyjaznych środowisku nie dominują w zarządzaniu (Witkowski, Pisarek, 2017, s. 15). Dla przykładu, działania proekologiczne nie są także determinantą wyborów gałęzi i środków transportu w sektorze chemicznym (Cichosz, Nowicka, Pluta-Zaremba, 2017, s. 1438). Sytuacja ta może być podyktowana nieustanną potrzebą poszukiwania rozwiązań, które ograniczają koszty i skracają czas realizacji procesów, czyli głównymi celami zarządzania łańcuchem dostaw. Jednak mając na uwadze narastające koszty zewnętrzne, podejmowane aktywne działania na rzecz zmian regulacji wynikających z polityk klimatycznych i sytuacji współtworzenia konkurencyjnych modeli biznesu przez czynniki otoczenia łańcuchów dostaw,

niezbędne jest poszukiwanie nowych rozwiązań umożliwiających ograniczanie problemu *trade-off* pomiędzy ponoszonymi kosztami a zanieczyszczeniem środowiska oraz emisją gazów cieplarnianych przez logistykę.

W celu rozwiązania powyższego problemu warto zwrócić uwagę na kluczowe czynniki sukcesu zielonego łańcucha dostaw, do których należą: zaangażowanie kierownictwa i pracowników, szkolenia, zielone produkty i procesy projektowania, zarządzanie dostawcami, pomiar procesów, zarządzanie informacją (Tundys, 2015, s. 293–294). Analiza zróżnicowanego zbioru tych czynników prowadzi do konstatacji, że przedsiębiorstwa, które planują rozwijać swoje łańcuchy dostaw w sposób zrównoważony (przy jednoczesnym osiągnięciu wcześniej wymienionych celów), muszą mieć dostęp do danych pochodzących z różnych źródeł. Projektowanie, współpraca z partnerami, zarządzanie procesami i informacją wymagają jednak stosownych narzędzi. Współcześnie takim narzędziem są technologie cyfrowe.

Technologie cyfrowe umożliwiają pozyskiwanie, przechowywanie, przetwarzanie i dystrybucję danych. W efekcie maksymalizowanie wykorzystywania właściwości technologii cyfrowych (ich ekosystemu) w zarządzaniu łańcuchami dostaw prowadzi do rozwoju koncepcji cyfrowych łańcuchów dostaw (Nowicka, 2019, s. 138–155). Zmienia ona dotychczasowe zasady organizacji przepływów – rekonfigurując je – i w zróżnicowany sposób dodaje w nich wartości. Powstają nowe modele łańcuchów, a w zasadzie portfele modeli cyfrowych łańcuchów dostaw, znacznie poprawiające jakość realizowanych procesów. Następuje redukcja kosztów oraz ryzyka w zarządzaniu łańcuchem dostaw (Chui, Loffler, Roberts, 2010, s. 1–9), ograniczany jest także problem wyborów typu *trade-off* (*The 2017 MHI Annual Industry Report. Next-Generation Supply Chains: Digital, On-Demand and Always-On*, 2017). Cyfrowe łańcuchy dostaw są też dobrym gruntem dla wdrażania takich koncepcji (np. zarządzanie jakością czy Six Sigma; Lei et al., 2010, s. 646–651), ograniczają zagrożenia związane z pracą ludzi w niebezpiecznych warunkach (*The 2017 MHI Annual Industry Report. Next-Generation Supply Chains: Digital, On-Demand and Always-On*, 2017) i są nastawione na redukcję kosztów zewnętrznych prowadzonej działalności gospodarczej, tj. minimalizację zużycia energii i wody, ograniczenie potrzeby transportowej, wykorzystywanie surowców pochodzących z recyklingu i ich ponowne przetwarzanie (w cyklu obiegu zamkniętego).

Szczególną rolę w cyfrowych modelach biznesu łańcuchów dostaw odgrywa Internet rzeczy (ang. *Internet of Things*, IoT), umożliwiający łączenie danych pomiędzy ludźmi, maszynami i rzeczami. Warto podkreślić, że IoT to *de facto* konfiguracja różnych technologii tworzących ekosystem, będący zasobem wspierającym monitorowanie przepływów i zarządzanie łańcuchami dostaw. Szczególnie interesująca w tej technologii jest funkcjonalność związana z możliwością włączania do całego systemu łańcucha dostaw także danych pochodzących z obiektów – w tym zlokalizowanych w jego otoczeniu. W efekcie możliwe jest identyfikowanie zdarzeń pozwalające na ograniczanie luki czasowej pomiędzy przepływem informacji a przepływem towarów (Frankowska, Nowicka, 2018). Przykładowe środowisko pozyskiwania danych i informacji w celu zarządzania łańcuchem dostaw z wykorzystaniem IoT przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Internet rzeczy w logistyce i zarządzaniu łańcuchem dostaw

Źródło: oprac. na podst.: Macaulay J., Buckalew L., Chung G. (2015). *Internet of Things in Logistics. A collaborative report by DHL and Cisco on implications and use cases for the logistics industry*. Troisdorf: DHL Customer Solutions & Innovation, 25.

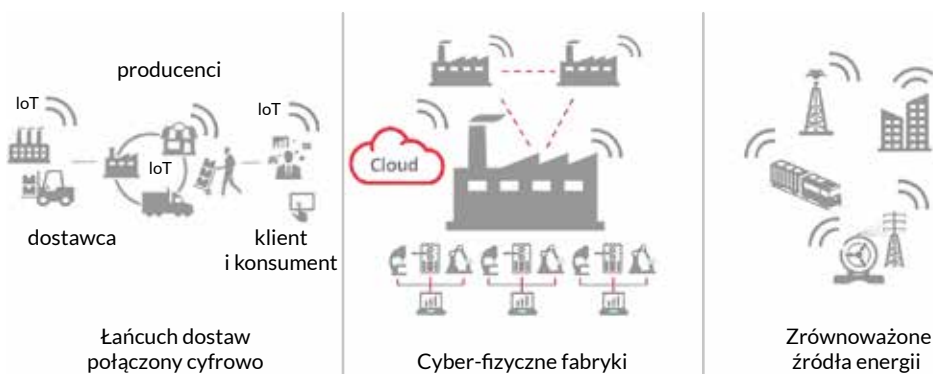
Internet rzeczy (czy też wszechrzeczy; Gajewski, Paprocki, Pieriegud, 2016, s. 14–18) jest przykładem cyber-fizycznego systemu, w którym za pomocą przesyłanych danych zachodzą interakcje pomiędzy światem cyfrowym i fizycznym. W efekcie możliwe jest podejmowanie decyzji niemal w czasie rzeczywistym występujących zdarzeń (Frazzon et al., 2013, s. 49–54; Strang, Anderl, 2014). Ta cecha jest szczególnie ważna w zarządzaniu łańcuchami dostaw, dla których dynamicznie zmieniające się otoczenie jest punktem wyjścia do podejmowania adekwatnych decyzji w możliwie jak najkrótszym czasie (Li et al., 2017, s. 1906–1916). Monitoring działań logistycznych, lokalizacja zasobów, zdalne zarządzanie przepływami i ich przejrzystość umożliwia osiągnięcie celów łańcucha dostaw. Wykorzystanie IoT np. dla identyfikacji zdarzeń podczas przepływu przez łańcuch dostaw żywności pozwala na detekcję pojawiającego się ryzyka wpływającego na jakość dostarczanego produktu (Wang, Yue, 2017, s. 223–229). Oczywiście jest to również możliwe w procesach zwrotów lub domykania cykli na różnych etapach łańcucha dostaw (Zheng et al., 2017, s. 109–122; Wang, Wang, 2017, s. 952–968), co pozwala na ograniczanie globalnych kosztów łańcucha dostaw – w tym kosztów zewnętrznych.

Dzięki tym właściwościom zarządzający otrzymują narzędzia umożliwiające rozwijanie nowych strategii łańcuchów dostaw bądź dające możliwość realizacji celów strategicznych na wyższym poziomie jakości. W efekcie wdrożenia opisanych interoperacyjnych technologii realizacja działań o charakterze strategicznym nie jest bowiem ograniczona jedynie do relacji zawieranych pomiędzy partnerami w danych łańcuchach dostaw. Dzięki tym technologiom istnieje dostęp do danych i informacji

zlokalizowanych w otoczeniu każdego z ogniw oraz wchodzenie w interakcje z organizacjami i obiektami. W efekcie tych interakcji zmianie mogą ulegać w zasadzie wszystkie procesy i działania realizowane w łańcuchu dostaw. Tym samym sposób realizacji strategii ulega redefinicji, umożliwiając dodatkowo zachowanie jednolitości i konsekwencji we wszystkich obszarach funkcjonowania łańcucha – także tych o charakterze wspierającym, np. dostawami energii.

Przykładem modelu biznesu łańcucha dostaw realizującego powyższe założenia jest zielony łańcuch dostaw 4.0 (ang. *green supply chain 4.0*; *sustainable supply chain 4.0*). Przyjmując, że zielony (zrównoważony) łańcuch dostaw ma funkcjonować z założeniem jednoczesnej realizacji celów ekonomicznych i społecznych oraz ekologicznych i klimatycznych, należy określać rolę technologii dla każdej z tych płaszczyzn. Część z nich znajduje swoje odzwierciedlenie w poziomie wdrażania cyfryzacji w różnych procesach i rozwijaniu się koncepcji opisanych wcześniej cyfrowych łańcuchów dostaw. Poza redukcją kosztów technologie skracają także czas realizacji procesów i w ten sposób oddziałują również na konkurencyjność łańcuchów dostaw (Nowicka, 2019). W przypadku działań proekologicznych i proklimatycznych możliwe jest ograniczanie wykorzystania energii pochodzącej z zasobów nieodnawialnych, redukcja emisji CO₂ i innych zanieczyszczeń środowiska powodowanych działaniami realizowanymi w łańcuchach dostaw (Coyle, Thomchick, Ruamsook, 2015, s. 365–374; Dam, Petkova, 2014, s. 586–609; Zhu, Geng, Lai, 2011, s. 405–419). W ramach efektów prospołecznych można mówić o poprawie jakości warunków pracy, wzroście kompetencji zatrudnionych (Krause, Vachon, Klassen, 2009, s. 18–25; Mani et al., 2016, s. 42–52; Kogg, Mont, 2012, s. 154–163) czy też poprawie warunków funkcjonowania innych interesariuszy, np. lokalnych społeczności.

Koncepcja zielonego łańcucha dostaw 4.0 zakłada wymianę danych i informacji z różnymi interesariuszami oraz obiektami, w celu realizacji strategii zrównoważonego rozwoju. Technologia służy wsparciu wyszukiwania dostawców zasobów wykorzystywanych na różnych etapach przepływów łańcucha dostaw, ich integracji, monitoringu i bieżącej interakcji podczas współpracy. Dynamika zmian w takim łańcuchu dostaw jest tożsama z dynamiką zmian zachodzących w otoczeniu. Celem jest tu bowiem niwelowanie różnic pomiędzy przyjętą strategią a sposobem funkcjonowania łańcucha na poziomie operacyjnym. Przy czym rozbieżności te mogą być niwelowane w ramach procesów bezpośrednio związanych z przepływami ładunków, w ramach poszczególnych ogniw łańcucha dostaw (np. w inteligentnych fabrykach), a także w ramach procesów wspierających te przepływy (np. związanych z pozyskiwaniem energii). Poszczególne przykładowe elementy zielonego łańcucha dostaw 4.0 przedstawia rysunek 4.



Rys. 4. Przykładowe elementy zielonego łańcucha dostaw 4.0

Źródło: Manavalan E., Jayakrishna K. (2019). A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. *Computers & Industrial Engineering*, 127, 943.

Immanentnymi elementami umożliwiającymi wdrożenie opisanej koncepcji są: dostęp do danych, zbudowanie systemu ich przetwarzania na informacje i dalszej dystrybucji oraz umożliwienie interakcji pomiędzy poszczególnymi interesariuszami zaangażowanymi na różnych etapach przepływów w łańcuchu. Można zatem przyjąć, że zielone łańcuchy dostaw 4.0 to łańcuchy sterowane informacjami (ang. *information-driven green supply chains*, *information-driven sustainable supply chains*). Warto nadmienić, że inne rodzaje modeli biznesu zrównoważonych łańcuchów dostaw, np. łańcuch dostaw obiegu zamkniętego, również mogą być migrowane do świata cyfrowego czy raczej podlegać cyfrowej transformacji. Można stwierdzić, że wdrażanie tego typu rozwiązań współgra z realizacją założeń polityk klimatycznych, np. z założeniem Europejskiego Zielonego Ładu mówiącym o przyspieszaniu przejścia na zrównoważoną i inteligentną mobilność czy też potrzebą budowania systemów umożliwiających przepływ towarów „od pola do stołu” (Komisja Europejska, 2019).

Zakończenie

Współczesne czynniki otoczenia wywierają presję na zarządzanie łańcuchem dostaw w sposób zrównoważony, z poszanowaniem zasobów środowiska. Ta sytuacja częstokroć stoi w sprzeczności z dotychczasowymi oczekiwaniami konsumentów wobec łańcuchów dostaw ukierunkowanych na niski koszt i krótki czas. Wobec tego warto rozważyć możliwość połączenia kluczowego czynnika sukcesu w zarządzaniu łańcuchem dostaw, jakim jest dostęp do informacji pochodzących z różnych źródeł, także tych, które jedynie wspierają procesy przepływów towarów.

Łańcuchy dostaw i ich konkurencyjność rozwijają się w tempie współgrającym z tempem rozwoju technologii informacyjnych, które dzięki swoim właściwościom umożliwiają dostęp do informacji. Współczesnym narzędziem wspierającym procesy zarządzania są technologie cyfrowe, które będąc podstawą rozwoju cyfrowych łańcuchów dostaw, umożliwiają włączanie w proces ich zarządzania także inne obiekty zlokalizowane poza danym systemem. W efekcie, dzięki zarządzaniu informacją

z wykorzystaniem technologii cyfrowych, możliwe jest budowanie łańcuchów odpowiadających na zmienność uwarunkowań otoczenia. Ponadto dają one także potencjał do rozszerzania źródeł danych (i informacji) o organizacje i obiekty umożliwiające uspołnianie jakości realizowanych działań względem przyjętej strategii. Tym samym wykorzystanie tych technologii w zarządzaniu łańcuchem dostaw może współgrać z realizacją założeń polityk klimatycznych, wspierając ograniczanie negatywnego wpływu działań logistycznych na środowisko. Taką nową generacją modeli biznesu łańcuchów dostaw są zielone łańcuchy dostaw 4.0.

Bibliografia

- Alderson, W. (1957). *Market Behaviour and Executive Action*. Homewood: Richard D. Irwin.
- Aldy, J. E., Gianfrate, G. (2019). Przyszłościowa strategia klimatyczna dla organizacji, *Harvard Business Review*, 200.
- Baraniecka, A. (2015). Rozwój ekologicznych łańcuchów dostaw jako skutek kryzysów: ekonomicznego i środowiskowego. W: A. Skowrońska, J. Witkowski (red.), *Ekonomiczne, społeczne i środowiskowe uwarunkowania logistyki. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 383.
- Barratt, M. (2004). Understanding the meaning of collaboration in the supply chain. *Supply Chain Management: An International Journal*, 9(1).
- Barratt, M., Oliveira A. (2001). Exploring the experiences of collaborative planning initiatives. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 31(4).
- Baumol, W. J., Oates, W. E. (1988). *The theory of environmental policy*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bowersox, D. J. (1969). *Readings in Physical Distribution Management: The Logistics of Marketing*. Collier New York: Macmillan.
- Bukowski, L. A. (2016). *Zapewnienie ciągłości dostaw w zmiennym i niepewnym otoczeniu*. Dąbrowa Górnicza: Wydawnictwo Naukowe Wyższej Szkoły Biznesu w Dąbrowie Górniczej.
- Chopra, S., Meindl, P. (2013). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation* (5th ed.). Upper Saddle River: Pearson.
- Chow, W. S., Madu, C. N., Kuei, C. H., Lu, M. H., Lin, C., Tseng H. (2008). Supply chain management in the US and Taiwan: an empirical study. *Omega*, 36.
- Chui, M., Loffler, M., Roberts, R. (2010). The Internet of things. *McKinsey Quarterly*, 2.
- Cichosz, M., Nowicka, K., Pluta-Zaremba, A. (2017). Uwarunkowania wyboru transportu multimodalnego w sektorze chemicznym w Polsce. *Przemysł Chemiczny*, 7.
- Coyle, J. J., Thomchick, E. A., Ruamsook, K. (2015). Environmentally sustainable supply chain management: An evolutionary framework. *Marketing dynamism & sustainability: Things change, things stay the same...* Cham: Springer.
- Dam, L., Petkova, B. N. (2014). The impact of environmental supply chain sustainability programs on shareholder wealth. *International Journal of Operations & Production Management*, 34(5).
- Danese, P. (2013). Supplier integration and company performance: a configurational view. *Omega*, 41(6).

- European Commission. (1995). Towards fair and efficient pricing in transport. Policy options for internalising the external costs of transport in the European Union. Green Paper. COM (95)691 final. Brussels: European Commission.
- Flynn, B. B., Huo, B., Zhao X. (2010). The impact of supply chain integration on performance: a contingency and configuration approach. *Journal of Operations Management*, 28(1).
- Forrester, J. W. (1958). Industrial Dynamics. A Major Breakthrough for Decision Makers. *Harvard Business Review*, 36(4).
- Frankowska, M., Nowicka, K. (2018). Zarządzanie łańcuchem dostaw w dobie Smart Industry. *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*, 3.
- Frazzon, E. M., Hartmann, J., Makuschewitz, T., Scholz-Reiter, B. (2013). Towards socio-cyber-physical systems in production networks. *Procedia CIRP*, 7.
- Gajewski, J., Paprocki, W., Pieriegud J. (red.). (2016). *Cyfryzacja gospodarki i społeczeństwa – szanse i wyzwania dla sektorów infrastrukturalnych*. Publikacja Europejskiego Kongresu Finansowego. Gdańsk: Instytut Badań nad Gospodarką Rynkową – Gdańska Akademia Bankowa.
- Ghasemkhani, H. Soule, D. Westerman, G. (2014). Competitive Advantage in a Digital World: Toward An Information-Based View of the Firm. *MIT Initiative on the Digital Economy*, May.
- Golik-Górecka, G. (2017). Rodzaje Big Data i ich wykorzystywanie w strategiach marketingowych. *Marketing i Zarządzanie*, 3(49).
- Growth within circular economy vision for a competitive Europe*. (2015). Ellen MacArthur Foundation, McKinsey Center for Business and Environment, SUN.
- Handfield, R. B., Nichols, E. L. (2002). *Supply Chain Redesign: Transforming Supply Chains into Integrated Value System*. Upper Saddle River: Financial Times Prentice Hall.
- Hejduk, I. K. (2018). Transformacja cyfrowa gospodarki wyzwaniem dla systemów edukacyjnych. *Roczniki Kolegium Analiz Ekonomicznych SGH*, 45. Pozyskano z: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_pl
- Kim, D. Y., Kumar, V., Kumar, U. (2010). Performance assessment framework for supply chain partnership. *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(3).
- Kogg, B., Mont, O. (2012). Environmental and social responsibility in supply chains: The practise of choice and inter-organisational management. *Ecological Economics*, 83.
- Kohli, A. S., Jensen, J. B. (2010). Assessing effectiveness of supply chain collaboration: an empirical study. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 11(2).
- Komisja Europejska. (2011). *Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu*. Biała Księga. COM (2011), 144 wersja ostateczna. Bruksela: Komisja Europejska.
- Komisja Europejska. (2019). *Europejski Zielony Ład*. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. COM(2019) 640 final. Bruksela: Komisja Europejska. Pozyskano z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640&from=DE>

- Krause, D. R., Vachon, S., Klassen R. D. (2009). Special topic forum on sustainable supply chain management: Introduction and reflections on the role of purchasing management. *Journal of Supply Chain Management*, 45(4).
- Lei, Q., Yi, S., Pan, L., Song, Y. (2010). Research on the intelligent quality management system of Supply Chains based on Six Sigma theory. *Key Engineering Materials*.
- Li, Z., Liu, G., Liu, L., Lai, X., Xu, G. (2017). IoT-based tracking and tracing platform for prepackaged food supply chain. *Industrial Management & Data Systems*, 117(9).
- Lummus, R. R., Vokurka, R. J. (1999). Defining supply chain management: a historical perspective and practical guidelines. *Industrial Management & Data Systems*, 99(1).
- Macaulay J., Buckalew L., Chung G. (2015). *Internet of Things in Logistics. A collaborative report by DHL and Cisco on implications and use cases for the logistics industry*. Troisdorf: DHL Customer Solutions & Innovation.
- Manavalan, E., Jayakrishna, K. (2019). A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. *Computers & Industrial Engineering*, 127.
- Mani, V., Gunasekaran, A., Papadopoulos, T., Hazen, B., Dubey R. (2016). Supply chain social sustainability for developing nations: Evidence from India. *Resources, Conservation and Recycling*, 111.
- Mayer, R. C., Davis, J. H., Schoorman, F. (1995). An integrated model of organizational trust. *Academy of Management Review*, 20(3).
- McKinnon, A. (2016). Freight Transport in a Low-Carbon World. Assessing Opportunities for Cutting Emissions. *TR News*, 306.
- Migdał-Najman, K., Najman, K. (2017). Big data = Clear + Dirty + Dark Data. W: *Taksonomia 29. Klasyfikacja i analiza danych – teoria i zastosowania. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 469.
- Mithas, S., Ramasubbu, N., Sambamurthy, V. (2011). *How information management capacity influences firm performance*. *MIS Quarterly*, 25(1).
- Nowicka, K. (2019). *Technologie cyfrowe jako determinanta transformacji łańcuchów dostaw* (s. 85–92). Warszawa: Oficyna Wydawnicza SGH.
- Nowicka, K. (2017). Rozwój świata wirtualnego i jego wpływ na e-mobilność. W: J. Gajewski, W. Paprocki, J. Pieriegud (red.), *e-Mobilność – wizje i scenariusze rozwoju*. Publikacja Europejskiego Kongresu Finansowego. Gdańsk: Instytut Badań nad Gospodarką Rynkową – Gdańska Akademia Bankowa.
- Nowoczesne technologie mogą przyspieszyć postęp w przeciwdziałaniu zmianom klimatycznym o 22 proc.* Deloitte. Pozyskano z: <https://www2.deloitte.com/pl/pl/pages/press-releases/articles/nawoczesne-technologie-moga-przyspieszyc-postep-w-przeciwdzialaniu-zmianom-klimatycznym-o-22-proc.html>
- Oflakowski, K. (2020, 6 kwietnia). Bez transportu towarowego nie uda się osiągnąć globalnych celów klimatycznych. *Rzeczpospolita*. Pozyskano z: <https://logistyka.rp.pl/prawo/regulacje-ue/5698-bez-transportu-towarowego-nie-uda-sie-osiagnac-globalnych-celow-klimatycznych>
- Olhager, J., Selldin, E., Wikner, J. (2005). Decoupling the Supply Chain. W: E. Selldin, *Supply Chain Design – Conceptual Models and Empirical Analyses*. Linköping.

- Organizacja Narodów Zjednoczonych (2015). *Przekształcamy nasz świat: Agenda na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030*. Rezolucja przyjęta przez Zgromadzenie Ogólne w dniu 25 września 2015 roku.
- Płoszajski, P. (2013). Big data: nowe źródło przewag i wzrostu firm. *E-mentor*, 3(50).
- Prajogo, D., Olhager, J. (2012). Supply chain integration and performance: the effects of long-term relationships, information technology and sharing, and logistics integration. *International Journal of Production Economics*, 135.
- Slater, A. (1976). The Significance of Industrial Logistics. *International Journal of Physical Distribution*, 7(2).
- Srivastave, S. K. (2007). Green Supply Chain Management: A State-of-the-Art Literature Review. *International Journal of Management Reviews*, 9(1).
- Strang, D., Anderl, R. (2014). Assembly process driven component data model in cyberphysical production systems. *Proceedings of the world congress on engineering and computer science*.
- Surma, J. (2017). *Cyfryzacja życia. Człowiek, biznes, państwo*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Szymczak, M. (2015). *Ewolucja łańcuchów dostaw*. Poznań: Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu.
- The 2017 MHI Annual Industry Report. Next-Generation Supply Chains: Digital, On-Demand and Always-On*. (2017). Deloitte, MHI.
- The ripple effect. How manufacturing and retail executives view the growing challenge of supply chain risk*. (2013). Deloitte Development LLC.
- Tundys, B. (2015). Zielony łańcuch dostaw w gospodarce o okrężnym obiegu – założenia, relacje, implikacje. W: A. Skowrońska, J. Witkowski (red.), *Ekonomiczne, społeczne i środowiskowe uwarunkowania logistyki. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 383.
- Wang, J., Yue, H. (2017). Food safety pre-warning system based on data mining for a sustainable food supply chain. *Food Control*, 73.
- Wang, X. V., Wang, L. (2017). A cloud-based production system for information and service integration: An internet of things case study on waste electronics. *Enterprise Information Systems*, 11(7).
- Witkowski, J. (2010). *Zarządzanie łańcuchem dostaw. Koncepcje, procedury, doświadczenia*. Warszawa: PWE.
- Witkowski, J., Pisarek, A. (2017). Istota zielonych łańcuchów dostaw – propozycja systematyzacji pojęć. *Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*, 315.
- Zarządzanie ryzykiem klimatycznym. Zmiana klimatu w biznesie. (2019). *Sustainability Insights*, 4. Pozyskano z: <https://www2.deloitte.com>
- Zheng, B., Yang, C., Yang, J., Zhang, M. (2017). Pricing, collecting and contract design in a reverse supply chain with incomplete information. *Computers & Industrial Engineering*, 111.
- Zhu, Q., Geng, Y., Lai, K. H. (2011). Environmental supply chain cooperation and its effect on the circular economy practice-performance relationship among Chinese manufacturers. *Journal of Industrial Ecology*, 15(3).

Streszczenie

Łańcuchy dostaw i ich konkurencyjność rozwijają się dzięki technologiom informacyjnym w tempie współgrającym z tempem rozwoju tych technologii. Wykorzystanie ich może współgrać z realizacją założeń polityk klimatycznych, wspierając ograniczanie negatywnego wpływu działań logistycznych na środowisko naturalne. Celem opracowania jest próba identyfikacji kolejnej fazy rozwoju modeli biznesu łańcuchów dostaw, które są w stanie wspierać realizację strategii proekologicznych, wychodząc naprzeciw wyzwaniom środowiskowym i politykom klimatycznym XXI w. Te modele biznesu można nazwać zielonymi łańcuchami dostaw 4.0, a ich kluczową cechą jest szeroka perspektywa włączająca proklimatyczne podejście. Wdrażanie tej koncepcji wspiera także niwelację kosztów zewnętrznych, które coraz częściej współdecydują o konkurencyjności przedsiębiorstw i łańcuchów dostaw.

Słowa kluczowe: zielony łańcuch dostaw 4.0; technologie cyfrowe w łańcuchu dostaw; cyfrowe łańcuchy dostaw.

GREEN SUPPLY CHAINS 4.0

SUMMARY

Supply chains and their competitiveness are developing at a pace consistent with the pace of development of information technologies, which, thanks to their properties, enable access to information. The use of these technologies may be compatible with the implementation of the assumptions of climate policies, supporting the reduction of the negative impact of logistics activities on the natural environment. The purpose of the study is to attempt to identify the next phase of development of supply chain business models that, using digital technologies, are able to support the implementation of pro-ecological strategies to meet environmental challenges and climate policies of the 21st century. These business models can be called 4.0 green supply chains, and their key feature is the broad perspective incorporating a pro-climate approach. The implementation of this concept also supports the elimination of external costs, which more and more often co-determine the competitiveness of enterprises and supply chains.

Keywords: Green Supply Chain 4.0; digital technologies in the supply chain; digital supply chains.

JEL: O33; Q55; Q56



Jakub Zawieska

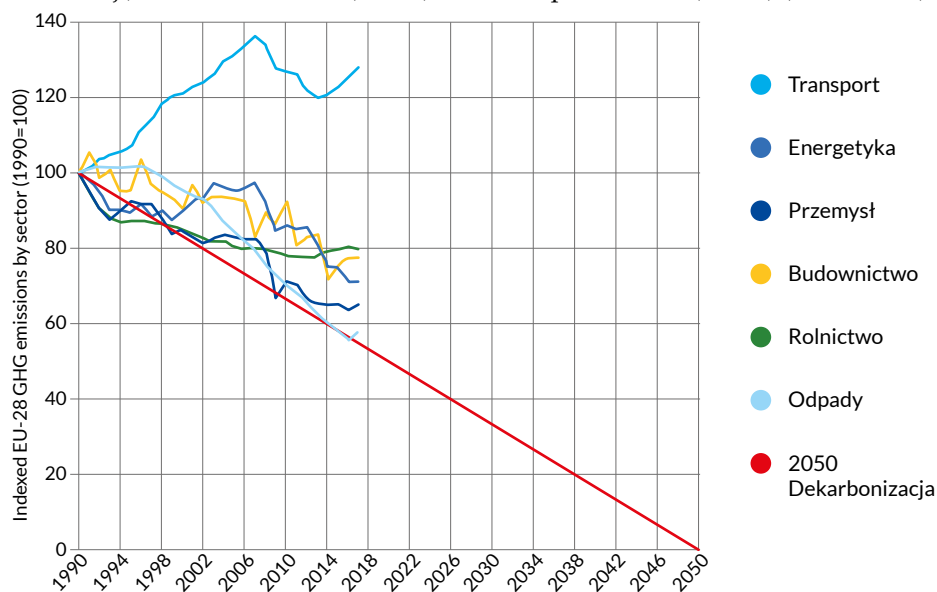
Doktor nauk ekonomicznych, adiunkt w Instytucie Infrastruktury, Transportu i Mobilności Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie. Zajmuje się problematyką zrównoważonej i cyfrowej mobilności, ekonomiki transportu, polityką transportową, elektryfikacją sektora transportu, a także koncepcją inteligentnych miast. Laureat konkursów „European Friedrich-List-Award 2018”, „Innowator Mazowsza 2018”, „Dyplomy dla Warszawy 2017” za rozprawę doktorską poświęconą roli inteligentnych miast w ograniczaniu negatywnego wpływu sektora transportu na środowisko naturalne.

<https://orcid.org/0000-0002-3476-1532>

Auto 2.0: ewolucja modelu konsumpcji oraz miejsce samochodu osobowego w świetle wyzwań klimatycznych i zmian potrzeb mobilności mieszkańców Europy

Wstęp

W ostatnich latach globalne ocieplenie i degradacja środowiska były jednymi z wiodących tematów dyskusji oraz czynników uwzględnianych w planowaniu strategicznym i prognozach długoterminowego rozwoju. Oba zagadnienia były także przedmiotem dużej liczby opracowań naukowych opublikowanych w ponad 50 tys. (tylko w latach 2019–2020) poświęconych im artykułów w renomowanych czasopismach naukowych¹. Sektor transportu jest jednym z kluczowych obszarów wymagających redukcji emisji gazów cieplarnianych (ang. *greenhouse gases*, GHG). Odpowiada on za około 25% globalnych emisji GHG, ponadto jako jedyny sektor gospodarki odnotowuje ich stały wzrost (Rys. 1) (KE, 2020a). W Europie dominującym źródłem emisji jest transport drogowy (71,7% emisji), a także lotnictwo (13,9%) oraz transport morski (13,3%) (EEA, 2019a).



Rys. 1. Emisje GHG z poszczególnych sektorów UE

Źródło: Farm Europe. (2019). *Do NECPS from the 28 Member States meet EU transport decarbonisation targets?* Bruksela: Farm Europe.

¹ Liczba artykułów dla słowa kluczowego „climate change”. Dane ze strony sciencedirect.com, stan na 30.04.2020.

Przedstawiony wykres wyraźnie pokazuje, iż osiągnięcie neutralności klimatycznej omawianego sektora do 2050 r. w UE, a także realizacja wynikających z porozumienia paryskiego zobowiązań, są bardzo wymagającym zadaniem i nie zostaną osiągnięte bez radykalnych zmian w sektorze transportu.

Celem prezentowanego opracowania jest analiza i ocena możliwości osiągnięcia przez sektor transportu celów Europejskiego Zielonego Ładu (ang. *European Green Deal*, EGD) obejmujących przede wszystkim zestawienie potencjalnych ścieżek dekarbonizacji oraz kosztów całego procesu, a także przedstawienie aktualnych trendów na rynku motoryzacyjnym, obrazujących skalę trudności w redukcji emisji GHG w sektorze. Sektor motoryzacyjny przechodzi obecnie jedną z największych transformacji w historii. Zachodzące zmiany są bardzo mocno powiązane z wymogami ochrony środowiska i celami redukcyjnymi dla całego transportu. Ich kierunek dobrze obrazuje koncepcja Auto 2.0, w opisywana także w literaturze przedmiotu jako „Pojazd CASE – Connected, Autonomous, Shared, Electric” (Rys. 2).



Rys. 2. Koncepcja Auto 2.0 / Pojazdu CASE (wg Samsunga)

Źródło: Paprocki, W. (2019). *Pojazd CASE (connected, autonomous, shared, electric) jako katalizator ewolucji systemów mobilności w gospodarce cyfrowej 4.0*. Warszawa: Seminarium Gospodarka Cyfrowa 4.0, Szkoła Główna Handlowa w Warszawie.

Koncepcja ta zakłada rozbudowę i zmiany funkcjonalności samochodów w czterech istotnych obszarach, które mogą istotnie zmienić zasady funkcjonowania rynku motoryzacyjnego (Wingo, 2018):

- *usieciowienie* (ang. *connectivity*) obejmujące zarówno łączność wewnętrzną, np. asystent głosowy, jak i zewnętrzną – z innymi pojazdami (V2V) oraz infrastrukturą (V2I);
- *współdzielenie* (ang. *sharing*), czyli zmiana modelu prawa własności. Wraz z rozwojem motoryzacji pojawiają się nowe modele biznesowe posiadania i korzystania z samochodu, m.in. mobilność współdzielona, subskrypcja samochodów, fleits² mobilność na żądanie etc.;

² Fleits – forma własności, w której właścicielem pojazdu (komercyjnej floty pojazdów) jest fundusz inwestycyjny, a konsumenci indywidualni mają możliwość wykupu udziałów w danym podmiocie.

- *elektryfikacja* samochodów (ang. *electric*) – globalny trend, obejmujący obecnie wszystkich liczących się producentów pojazdów, i jedno z głównych założeń dekarbonizacji sektora transportu. Na świecie liczba pasażerskich samochodów elektrycznych przekroczyła już 5 mln i ciągle dynamicznie wzrasta. Na rynku europejskim w najbliższych latach pojawi się co najmniej kilkadziesiąt nowych modeli BEV, co znacząco zwiększy ich konkurencyjność w zestawieniu z samochodami konwencjonalnymi (zagadnienie e-mobilności jest szerzej opisane w dalszej części rozdziału);
- *autonomizacja* (ang. *autonomous*) – najbardziej przełomowy i jednocześnie najtrudniej osiągalny element rozwoju technologicznego pojazdów. Obecnie wiodący producenci deklarują dla wybranych pojazdów osiągnięcie trzeciego z sześciu poziomów autonomizacji (Level 2 SAE)³. Kwestia autonomiczności pojazdów również jest szerzej omówiona w dalszej części rozdziału.

Wdrożenie na masową skalę powyższych rozwiązań, opartych w dużej mierze na niskoemisyjnych rozwiązaniach i technologiach, powinno się przyczynić do przynajmniej częściowej dekarbonizacji sektora transportu. Jednocześnie dążenie do osiągnięcia modelu Auta 2.0 zwiększa atrakcyjność samochodu osobowego jako popularnego środka przemieszczania się. Przeciwwstawia się to fundamentalnemu założeniu koncepcji zrównoważonego transportu, zgodnie z którym oczekuje się, że im mniej samochodów będzie poruszało się na drogach, tym mniej będzie nimi wykonywanych podróży. Istotną zmianę w liczbie wykorzystywanych samochodów może przynieść pełna implementacja samochodów autonomicznych, jednakże jak wykazano w dalszej części opracowania, jest to odległa i niepewna przyszłość.

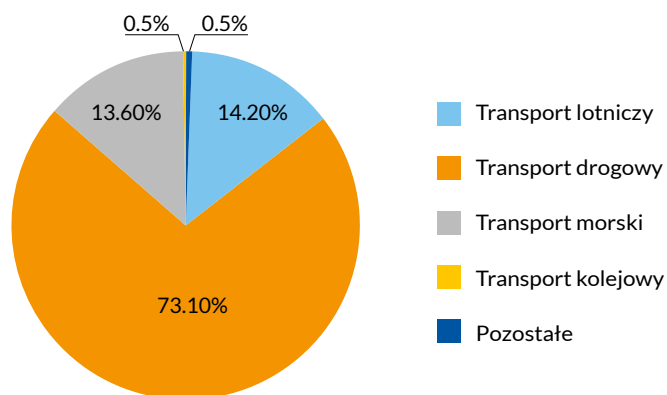
Podjęmując analizę koncepcji Auta 2.0, postawiono tezę, że cały sektor motoryzacji obecnie nie jest przygotowany do transformacji na tak dużą skalę, jaka byłaby niezbędna dla osiągnięcia pełnej neutralności klimatycznej sektora transportu drogowego do 2050 r.

Wybuch globalnej pandemii COVID-19 w grudniu 2019 r., przynajmniej chwilowo, odsunął na drugi plan kwestie walki ze zmianami klimatu. W maju 2020 r. jest zbyt wcześnie, aby w pełni ocenić skutki wpływu pandemii koronawirusa zarówno na funkcjonowanie gospodarek, jak i społeczeństw, a w konsekwencji na realizację wizji EGD. W przestrzeni publicznej pojawiają się głosy nawołujące do przesunięcia jej realizacji, jak i do jej przyspieszonego wdrożenia (Europarl, 2020). Rozprzestrzenianie się koronawirusa Sars-CoV-2 może mieć niewątpliwie znaczący i długotrwały wpływ na funkcjonowanie sektora transportu, jednak w opracowaniu przyjęto założenia sprzed wybuchu pandemii. Na etapie powstawania pracy (01.2020–05.2020) wszystkie dostępne szacunki oraz scenariusze dojścia do neutralnego klimatycznie europejskiego systemu transportu opierały się na zasadach jego funkcjonowania sprzed pandemii. Jednak na zakończenie pracy zaprezentowano analizę potencjalnych skutków wpływu pandemii na sektor transportu i realizację założeń EGD.

³ SAE stosuje skalę 0-5, dlatego Level 2 SAE to poziom trzeci.

1. Dekarbonizacja sektora transportu

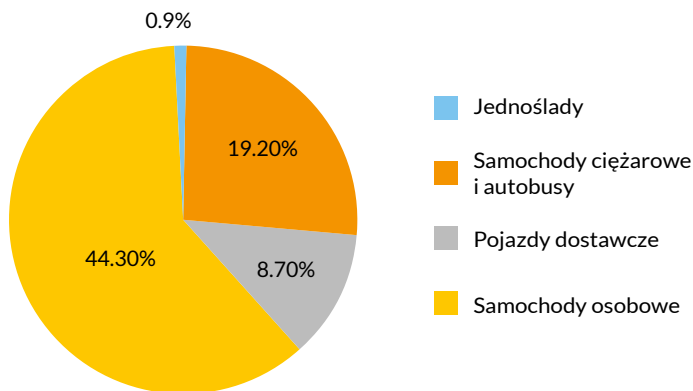
Statystyki emisji GHG dla poszczególnych gałęzi transportu wskazują wyraźnie, że to sektor transportu drogowego musi przejść największą transformację w celu osiągnięcia do 2050 r. neutralności klimatycznej. Odpowiada on bowiem za ponad 73% emisji GHG z całego sektora (Rys. 3).



Rys. 3. Emisje GHG w sektorze transportu (UE-28)

Źródło: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-greenhouse-gases/transport-emissions-of-greenhouse-gases-12>

W ramach transportu drogowego największy udział w wielkości emisji mają samochody osobowe (44,3% wszystkich emisji) oraz samochody ciężarowe i autobusy (19,2%) i (8,7%) lekkie samochody dostawcze (Rys. 4).



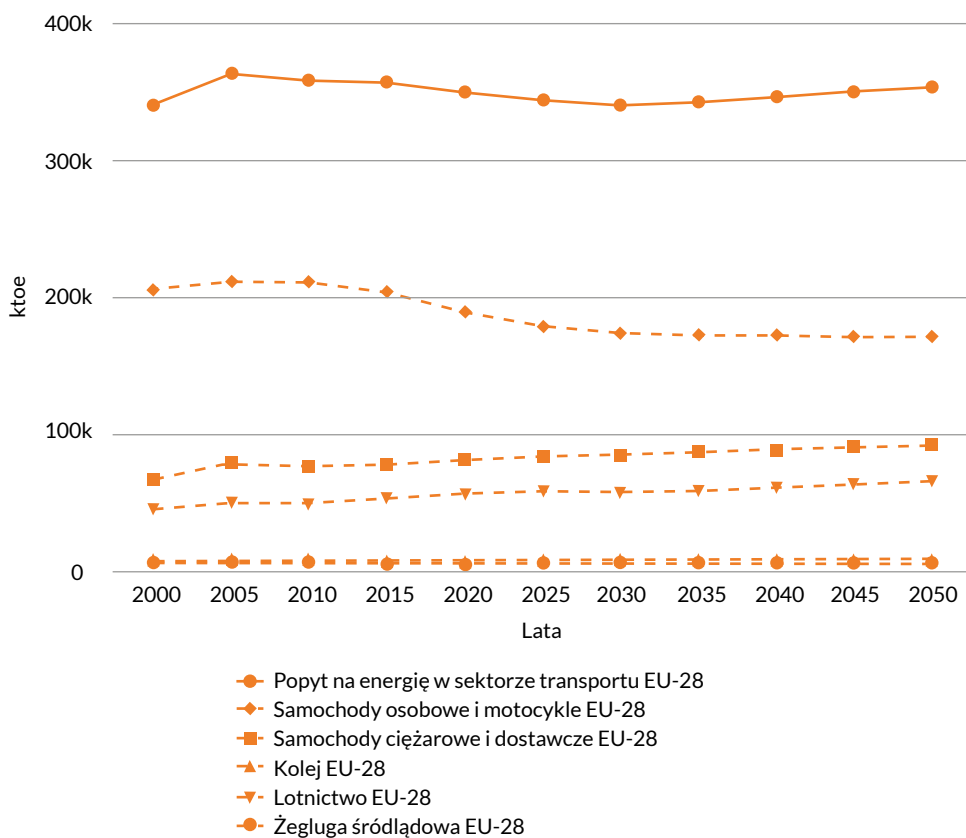
Rys. 4. Udział poszczególnych środków transportu drogowego w wielkości emisji GHG

Źródło: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-greenhouse-gases/transport-emissions-of-greenhouse-gases-12>

Jednocześnie należy zaznaczyć, że EGD zakłada pełną neutralność klimatyczną dla całego sektora transportu, a zatem także pozostałych jego gałęzi. W przedstawi-

nej wizji dopuszczono możliwość bilansowania emisji z różnych źródeł, np. poprzez zastosowanie instalacji do sekwestracji dwutlenku węgla (ang. *carbon capture and storage*, CCS). Jednak bez znacznej redukcji emisji ze wszystkich gałęzi transportu takie zbilansowanie emisji będzie procesem bardzo kosztownym. Ponadto dynamika wzrostu emisji GHG jest najwyższa dla gałęzi stanowiących największe wyzwanie dekarbonizacyjne, tzn. transportu towarowego ciężarowego i lotniczego, który odnotował wzrost o 80% w okresie 1990–2015, przy średnim wzroście dla całego sektora transportu 17% (KE, 2018, s. 51).

Biorąc pod uwagę powyższe trendy, pełna dekarbonizacja transportu będzie zatem bardzo trudnym zadaniem. Bez radykalnych zmian zasad funkcjonowania sektora transportu zmiana powyższych trendów będzie bardzo dużym wyzwaniem. Według szacunków Komisji Europejskiej, przy kontynuacji dotychczasowej polityki, oznaczającej brak wprowadzenia dodatkowych ograniczeń ponad już istniejące i zaplanowane, zapotrzebowanie na energię (Rys. 5) oraz emisje CO₂ do 2050 r. z sektora transportu utrzymają się na podobnym poziomie co w 2018 r. (KE, 2016, s. 61).



Rys. 5. Zapotrzebowanie na energię w sektorze transportu – prognoza do 2050 r.

Źródło: Komisja Europejska. (2016). *EU Reference Scenario 2016 Energy, transport and GHG emissions trends to 2050*. Bruksela: Directorate-General for Energy, Directorate-General for Climate Action and Directorate-General for Mobility and Transport.

Bez wprowadzania bardziej rygorystycznych i skuteczniejszych zachęt oraz narzędzi ograniczających dopuszczalne emisje ich struktura ulegnie zmianom w niewielkim stopniu. Głównymi źródłami emisji pozostaną samochody osobowe, ciężarowe oraz transport lotniczy, a udział zeroemisyjnych gałęzi transportu, np. samochodów elektrycznych, będzie nadal marginalny. Natomiast emisje z transportu kolejowego, który w Europie korzysta przede wszystkim z trakcji elektrycznej, będą w dużej mierze zależały od miksu energetycznego wykorzystywanego w przyszłości w sektorze produkcji energii elektrycznej.

Duży wpływ na tak dużą wielkość emisji GHG ma korzystanie z najbardziej popularnych wtórnych nośników energii w sektorze transportu, tzn. wyrobów opartych na ropie naftowej i gazie ziemnym. W sektorze transportu drogowego około 94% pojazdów korzysta z substancji ropopochodnych, a w transporcie lotniczym i morskim wskaźnik ten osiąga poziom prawie 100% (IEA, 2018).

Najkorzystniej w tym zestawieniu prezentuje się transport kolejowy, dla którego energia elektryczna zaspokaja globalnie 42% zapotrzebowania (Carnevale and Sachs, 2019, s. 74). W Europie wskaźnik ten jest wyższy, osiąga 75% (IEA, 2019a). Należy przy tym zaznaczyć, iż produkcja energii elektrycznej generuje również emisje, których ilość zależy przede wszystkim od stosowania miksu energetycznego. Według danych Międzynarodowej Agencji Energetycznej (ang. *International Energy Agency*, IEA), zapotrzebowanie na energię w transporcie będzie w dalszym ciągu rosnąć, a struktura i źródła zaspokajania popytu na nią ulegną zmianie tylko w niewielkim stopniu. W 2040 r. produkty ropopochodne będą odpowiadać za 50–82% zapotrzebowania na energię, co znacząco odbiega od celów i wymogów stawianych zarówno w porozumieniu paryskim, jak i EGD (IEA, 2019b).

Ponadto, jeżeli nie nastąpią żadne radykalne zmiany w sposobie funkcjonowania i przemieszczania się ludzi, a także nadal będzie następował wzrost populacji i PKB na całym świecie, należy się spodziewać dalszego zwiększenia zapotrzebowania na transport. Wieloletnie globalne statystyki wykazują, że dotychczasowy popyt na usługi transportowe był ściśle skorelowany z oboma wymienionymi wskaźnikami. Według danych IEA, w skali globalnej do 2040 r., należy się spodziewać trzykrotnego wzrostu liczby przewozów, zarówno w sektorze transportu pasażerskiego, jak i towarowego, co znacząco utrudni osiągnięcie neutralności klimatycznej w tym obszarze gospodarki.

Teoretyczne ścieżki dojścia do neutralności klimatycznej i działania na rzecz dekarbonizacji transportu są dość dobrze rozpoznane i szeroko opisywane w literaturze. Proponowane rozwiązania można podzielić na grupy działań wymienione poniżej (m.in. Dft, 2020, Carnevale and Sachs 2019, ITF, 2018a).

1.1. Rozwiązania technologiczne

Szeroko rozumiany postęp technologiczny to główny czynnik większości strategii dekarbonizacji sektora transportu. Rozwiązania w tym obszarze dotyczą następujących kategorii:

- a) Zwiększanie efektywności technologicznej pojazdów konwencjonalnych napędzanych silnikami: ta grupa rozwiązań obejmuje przede wszystkim optymalizację i poprawianie wydajności energetycznej silników spalinowych (ang. *internal combustion engines, ICE*) oraz zmniejszanie emisyjności jednostek napędowych.
- b) Opracowywanie i promowanie alternatywnych napędów i źródeł energii. Działania z tej grupy obejmują przede wszystkim rozwijanie i promowanie elektromobilności. Obecnie energia elektryczna przez większość ekspertów uważana jest za wiodącą alternatywę dla silników konwencjonalnych. Postęp technologiczny w tej dziedzinie dotyczy przede wszystkim zwiększenia wydajności baterii i zasięgu pojazdów je wykorzystujących (ang. *battery electric vehicles, BEV*) oraz redukcji kosztów wytworzenia takich pojazdów. Największym wyzwaniem jest zmniejszenie kosztów użytkowania pojazdów elektrycznych oraz kosztów ich produkcji (w zakresie przede wszystkim baterii i akumulatorów). Trwają także ciągłe prace nad usprawnieniami rozwiązań z obszaru infrastruktury ładowania.

Samochody elektryczne napędzane ogniwami paliwowymi (ang. *fuel cell electric vehicles, FCEV*) to drugi z najbardziej obiecujących alternatywnych napędów przyszłości. Ogniwa te mogą być zasilane różnym paliwem, ale zdecydowanie najpopularniejsze i najbardziej zaawansowane są technologie wodorowe. Obecnie jednak koszty pozyskania tzw. zielonego wodoru (produkowanego za pomocą hydrolizy) są w dalszym ciągu bardzo wysokie, podobnie jak koszty zakupu i eksploatacji samochodu FCEV, co znacznie ogranicza ich konkurencyjność i potencjał na rynkach.

Niezależnie od źródeł energii i wykorzystywanego paliwa całkowity wpływ wszystkich rozwiązań na środowisko powinien być prowadzony z wykorzystaniem metody oceny cyklu życia (ang. *life cycle assessment, LCA*). Dotyczy ona całego okresu życia wyrobu lub działania, począwszy od wydobycia i przetwórstwa surowców mineralnych, procesu produkcji wyrobu, dystrybucji, stosowania, wtórnego wykorzystania, utrzymania, recyklingu i końcowego zagospodarowania oraz transportu (Samson-Bręk, 2013, s. 182).

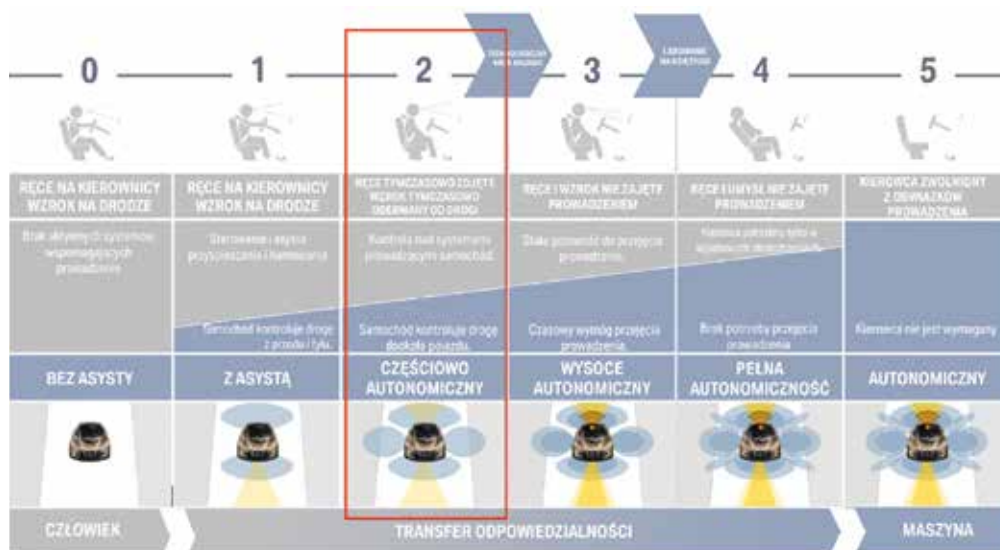
W przypadku samochodów elektrycznych suma emisji zależy przede wszystkim od miksu energetycznego stosowanego w danym regionie. W związku z tym w poszczególnych krajach wykorzystujących systemy energetyczne oparte na węglach, np. w Polsce, użytkowanie samochodu elektrycznego może generować większą ilość CO₂ niż jazda samochodem z silnikiem spalinowym. Rzeczywiste emisje GHG związane z korzystaniem z samochodu elektrycznego są jednak trudne do oszacowania i mogą się znacząco różnić nawet wewnątrz jednego kraju. W Niemczech np., w zależności od źródła energii elektrycznej, samochód elektryczny (np. Chevrolet Volt PHEV) może emitować od 37 g CO₂/km (energia pochodząca z OZE) do 190 g CO₂/km (energia z węgla brunatnego) (Plotz et al., 2018, s. 338). Jak wykazano w ramach innych analiz, samochody elektryczne są najczęściej ładowane po południu i wieczorem, czyli w okresach kiedy podaż energii z OZE jest niewielka, a udział energii z OZE w miksie energetycznym dość niski. Zastąpienie samochodów konwencjonalnych elektrycznymi może w niektórych przypadkach zwiększyć emisję CO₂ w skali całego kraju, chociaż proces wymiany napędów powinien powodować spadek wielkości emisji (Bahamonde-Birke, 2020, Jenn et al., 2015, Schill, Gerbaulet, 2015).

W zależności od zastosowanej metody obliczeń szacunkowe wyniki emisji GHG dla samochodów elektrycznych są bardzo zróżnicowane. W literaturze są także dostępne wyniki badań potwierdzające redukcję emisji GHG z sektora transportu, nawet przy wykorzystaniu do zasilania pojazdów elektrycznych energii opartej na węglach.

Według wyników analizy LCA organizacji Transport & Environment z 2020 r., przeciętny samochód elektryczny w Europie w całym cyklu życia emituje prawie trzy razy mniej CO₂, niż jego konwencjonalny odpowiednik (T&E, 2020). Szacunki IEA zakładają także, iż aktywne wdrażanie BEV może w przyszłości spowodować nawet redukcję emisji GHG do 50%, jednak przy założeniu, że upowszechniane będą coraz mniej emisyjne technologie produkcji energii elektrycznej (IEA, 2020).

Niezależnie od rozbieżności w aktualnej ocenie sytuacji, w dłuższej perspektywie czasowej stopniowe zwiększanie udziału w energetyce w Europie odnawialnych źródeł energii i wykorzystania z samochodów elektrycznych powinno się przyczynić do dekarbonizacji sektora transportu. Samo wdrażanie e-mobilności nie umożliwi prawdopodobnie osiągnięcia pełnej neutralności klimatycznej sektora transportu, ale może pozwolić na istotne redukcje. Niezwykle ważne jest jednak współdziałanie międzysektorowe i równoległa dekarbonizacja także sektora energetycznego.

Postęp technologiczny w obszarze technologii informacyjno-komunikacyjnych (ICT) to kolejny czynnik wpływający na potencjał dekarbonizacji transportu. Dotyczy on przede wszystkim dalszego rozwoju koncepcji Auta 2.0 oraz wykorzystania sztucznej inteligencji (AI) oraz analiz Big Data. Rozwiązania te umożliwią optymalizację systemów transportowych w wielu wymiarach i płaszczyznach, np. w miastach, planowaniu i zarządzaniu transportem zbiorowym oraz w logistyce i systemach zarządzania łańcuchami dostaw, a w rezultacie redukcję energochłonności i emisji GHG dla tych obszarów.



Rys. 6. Poziomy autonomiczności pojazdów wg SAE

Źródło: <https://businessinsider.com.pl/motoryzacja/bmw-rozwija-samochody-autonomiczne-test-bmw-750li-xdrive/mxrj69>, za Society of Automotive Engineers (SAE).

Rozwiązaniem technologicznym z obszaru ICT mogącym radykalnie zmienić funkcjonowanie współczesnych systemów transportowych jest pełna autonomizacja pojazdów oraz ich szeroka implementacja. W sześciostopniowej skali autonomiczności SAE (0–5) obecnie najbardziej zaawansowane pojazdy prezentują poziom 2. Z każdym kolejnym stopniem autonomiczności zwiększa się rola samochodu, a zmniejsza rola człowieka (kierowcy). Samochody dysponujące SAE 5 teoretycznie nie będą wyposażone w żadne narzędzia do sterowania pojazdem, np. w kierownicę lub pedały (Rys. 6).

Na obecnym etapie zarówno istniejący stan techniki oraz bariery pozatechnologiczne, m.in. prawne i społeczne powodują, iż założenie masowej implementacji samochodów w pełni autonomicznych (Level 5 SAE) do 2050 r. jest bardzo wątpliwe. Wraz z przeniesieniem zadań z zakresu kierowania pojazdem następuje także transfer odpowiedzialności za ewentualne wypadki z jego udziałem i jak dotąd nie znaleziono konsensusu, kto ponosiłby konsekwencje. Potencjalnie może to być zarówno właściciel, jak i producent pojazdu, a także dostawca/operator infrastruktury obsługującej poruszanie pojazdów na drodze. To właśnie z powodu braku odpowiednich regulacji prawnych Audi w kwietniu 2020 r. wycofało możliwość montowania w swojej flagowej limuzynie jedynego na świecie asystenta jazdy z poziomu Level 3 SAE (Edelstein, 2020).

1.2. Zmiany zachowań i preferencji użytkowników systemów transportowych

Drugim z podstawowych kierunków dekarbonizacji transportu jest dążenie do zmiany potrzeb mobilności ludności oraz wybór sposobów ich zaspokajania. Analiza czynników wpływających na zachowania komunikacyjne (ang. *travel behaviour*) jest jednym z najbardziej istotnych elementów w naukach z obszaru transportu i kreowaniu polityki transportowej. Jednak pomimo wielu badań przyczyniających się do coraz lepszego zrozumienia ludzkich wyborów i możliwości ich trafnego przewidywania, to „im więcej wiemy, tym więcej nie rozumiemy” (Clifton, Handy, 2001, s. 3). Na proces wyboru środka transportu wpływają m.in. czynniki ekonomiczne (np. koszt podróży, przychód gospodarstwa domowego), geograficzne (np. dystans podróży i forma zagospodarowania przestrzennego) lub zmienne społeczno-demograficzne (np. wiek, płeć) i kulturowe. Ich analiza obejmuje takie nauki, jak: psychologia, socjologia, ekonomia lub nawet filozofia (Boarnet, Sarmineto, 1998; Giuliano, 2003; Ng, Acker, 2018). Dodatkowym disruptorem w całym procesie jest dynamiczny rozwój technologii ICT, skutkujący nowymi usługami i środkami transportu. Rozwój współczesnych technologii wspiera tworzenie nowych modeli biznesowych usług mobilności, w założeniu bardziej atrakcyjnych niż korzystanie z własnego samochodu, np. usługi z obszaru mobilności współdzielonej (ang. *shared mobility*) lub mobilności-jako-usługi (ang. *Mobility-as-a-Service*, MaaS). Niewątpliwie lepsze zrozumienie ludzkich wyborów dotyczących mobilności jest istotne przy tworzeniu skutecznych polityk i strategii transportowych, mających na celu redukcję stopnia wykorzystania samochodów osobowych w społeczeństwach i osiągnięcie celów zrównoważonego rozwoju, m.in. określonych w wizji EGD.

W zależności od charakterystyki danego regionu (m.in. poziomu urbanizacji obszaru, położenia geograficznego i klimatu, poziomu dobrobytu, dostępnej infrastruktury transportowej, energetycznej i ICT, itp.) działania w obszarze kształtowania i wpływu na zachowanie użytkowników transportu znacznie się różnią między sobą.

Obejmują m.in. działania edukacyjne i promocyjne, a także systemy motywujące zmiany zachowań, oparte na zachętach (ang. *incentives*) ekonomicznych i finansowych oraz działania z obszaru planowania przestrzennego. Istotnym elementem są także czynniki kulturowe i społeczne. Ich wspólnym celem jest redukcja wykorzystania samochodu osobowego jako podstawowego źródła transportu na rzecz gałęzi transportu bardziej przyjaznych środowisku, np. miejski transport zbiorowy lub kolejowy. Zmiany zachowań obejmują także wspieranie i promowanie całkowicie zeroemisyjnej aktywnej mobilności (ang. *active travel*) realizowanej w formie podróży rowerowych i pieszych.

1.3. Zmiany regulacyjne

Zmiany regulacyjne obejmują przede wszystkim korektę prawa i tworzenie nowych przepisów wspierających transformację systemów mobilności. Są to m.in. normy prawne dotyczące: emisji dla nowych samochodów, wytyczania w miastach stref niskiej emisji (lokalnie), a także działania kształtujące popyt na niskoemisyjne środki transportu, np. dopłaty do pojazdów nisko- i zeroemisyjnych, nakładanie obowiązków dotyczących infrastruktury ładowania dla pojazdów elektrycznych itp.

Wymienione powyżej rozwiązania są w dużej mierze przeznaczone dla transportu drogowego pasażerskiego oraz systemów transportowych w miastach. Jednak do pełnej neutralności klimatycznej sektora transportu wymagana jest dekarbonizacja także dwóch istotnych gałęzi – transportu towarowego oraz lotniczego. W obu obszarach pełne wyeliminowanie emisji CO₂ jest obecnie bardzo dużym i kosztownym wyzwaniem.

Towarowy transport drogowy to istotny element dekarbonizacji całego sektora transportu. Odpowiada za około 25% wszystkich emisji GHG z sektora transportu drogowego oraz zużycie aż 50% całej globalnej produkcji oleju napędowego (ITF, 2018b, s. 6). Jednak zastosowanie w transporcie drogowym towarowym alternatywnych źródeł napędu jest obecnie dużym wyzwaniem, przede wszystkim z uwagi na gabaryty i masę oraz tryb pracy pojazdów polegający na pokonywaniu dużych odległości. Wyzwaniem technologicznym jest też masa i wielkość niezbędnego zestawu baterii.

Znane są zapowiedzi pojazdów ciężarowych z napędem elektrycznym o zasięgu do 800 km, ale są to jednak prototypy, obecnie dużo droższe w produkcji i eksploatacji od swoich odpowiedników napędzanych silnikami spalinowymi. Niemniej jednak według dostępnych deklaracji producentów w ciągu najbliższych dziesięciu lat poziom cen dla obu kategorii napędów powinien być porównywalny (Thomas et al., 2018; Scania 2018). Kolejną alternatywą są ciężarówki FCEV, ale zaawansowane prace badawczo-rozwojowe dopiero trwają. Jednak przy współczesnym stanie techniki ciężarówki FCEV dla uzyskania porównywalnego zasięgu wymagają cztery razy większego zbiornika na paliwo niż odpowiedniki napędzane silnikiem diesla. Aktu-

alna cena czystego wodoru nie jest konkurencyjna w stosunku do produktów ropopochodnych.

Kolejnym dużym wyzwaniem w procesie dekarbonizacji sektora jest redukcja emisji w transporcie lotniczym (Jiawei et al., 2018; Recharge, 2020). Potencjał redukcyjny w tym obszarze zależy głównie od poprawy efektywności i optymalizacji już stosowanych technologii, m.in. zwiększania efektywności energetycznej silników, wykorzystania nowych materiałów oraz lepszego designu samolotów. Jednak proponowane rozwiązania mają ograniczony potencjał i nie doprowadzą do pełnej dekarbonizacji. Przejście na całkowicie zeroemisyjne napędy w samolotach, np. silniki elektryczne, jest obecnie praktycznie niemożliwe, zwłaszcza w kontekście charakterystyki emisji z lotnictwa. Większość emisji GHG z tego sektora pochodzi z długodystansowych lotów (ponad 800 km), dla których nie dysponuje się realnymi alternatywami do napędu spalinowego. Potencjalnym rozwiązaniem dla lotnictwa jest przeniesienie wykonywanej pracy przewozowej na inne, bardziej zrównoważone środki transportu, np. koleje dużych prędkości, ale takie rozwiązania również są bardzo kosztowne i obarczone barierami geograficznymi.

Dla osiągnięcia neutralności klimatycznej wyzwaniem jest także redukcja emisji w transporcie morskim, dla którego do 2050 r. szacuje się wzrost emisji CO₂ o od 50% do nawet 250% (ITF, 2018c).

Pomimo iż ścieżki dojścia oraz instrumenty wspierające dekarbonizację transportu są stosunkowo dobrze rozpoznane i opisane w literaturze przedmiotu, to problemem pozostaje opracowanie realnych planów wdrożenia proponowanych rozwiązań. Już opracowanie planów częściowej redukcji emisji jest dużym wyzwaniem dla większości krajów UE.

Założenia EGD są kontynuacją dotychczasowej polityki Unii Europejskiej, kształtowanej w ostatnim okresie m.in. przez przyjęty w 2019 r. pakiet *Czysta energia dla wszystkich Europejczyków* (Komisja Europejska, 2019). Jest w nim szereg zapisów, tym dyrektywa RED II (*Renewable Energy Directive*) na lata 2020–2030, kształtujących politykę klimatyczną, UE m.in. odnośnie sektora budownictwa, energii czy transportu, a EGD można traktować jako jego przedłużenie w horyzoncie 2050 r. W takim ujęciu problemy realizacji założeń redukcyjnych dla sektora transportu do 2030 r. wskazują skalę wyzwań związanych z realizacją celów EGD i pełnej dekarbonizacji transportu do 2050 r.

Kraje członkowskie UE, w ramach dyrektywy RED II, mają za zadanie sporządzenie tzw. Krajowych planów na rzecz energii i klimatu na lata 2021–2030 (ang. *National Energy and Climate Plans*, NECP), określających ścieżki dojścia do celów wyznaczonych na 2030 r., w tym także w sektorze transportu. Polski dokument został przekazany do Komisji Europejskiej 30 grudnia 2019 r. Zadeklarowano w nim redukcję o 7% emisji gazów cieplarnianych w sektorach nieobjętych systemem EU ETS (ang. *Emissions Trading System*), w tym transportu, w porównaniu do poziomu w 2005 r. oraz w 2030 r. 14% udziału OZE w tym sektorze (MAP, 2019). Podobne deklaracje, często zakładające dużo bardziej ambitne cele redukcyjne, złożyły wszystkie kraje członkowskie UE. Jednak, zgodnie z analizą z 2019 r., przyjęte plany NECP wskazują na istotne braki dotyczące planowania dekarbonizacji transportu i praktycznie nie uwzględniające kosztów tego procesu. Aspekt finansowy dekarbonizacji sektora

transportu został częściowo opisany jedynie w dwóch z 28 analizowanych planów (Farm Europe, 2019). Wprawdzie większość krajów podała szacunkowe dane dotyczące kosztu redukcji CO₂ (Tab. 1), jednak nie przedstawiono sposobu ich kalkulacji. Tymczasem koszt ograniczenia emisji jest jedną z kluczowych zmiennych w procesie wdrażania i ewaluacji realizowanych polityk klimatycznych. Brak informacji na ten temat spowalnia także realne działania i podejmowanie decyzji przez władze publiczne, a także ogranicza poparcie społeczne dla całego procesu.

Należy także zwrócić uwagę na bardzo istotne różnice między kosztami redukcji przedstawionymi przez poszczególne kraje. Rozpiętość wynosi ponad 500 EUR/Mg, przy najmniejszym koszcie deklarowanym przez Finlandię (225 EUR/t CO₂), a największym przez Cypr, Portugalię i Szwecję (772 EUR/t CO₂). Ponadto sześć krajów członkowskich: Belgia, Bułgaria, Dania, Łotwa, Holandia, Polska oraz Słowacja, nie przedstawiło żadnych szacunkowych kosztów, a więc ostateczna skala rozpiętości może być jeszcze większa. W prezentowanych danych widoczne jest także duże zróżnicowanie przewidywanych kosztów redukcji CO₂ w krajach o porównywalnym poziomie rozwoju, co zmniejsza ich wiarygodność i transparentność.

Tab. 1. Szacowany koszt redukcji emisji CO₂ z sektora transportu do 2030 r.

Kraj*	Koszt redukcji €/t CO ₂	Kraj	Koszt redukcji €/t CO ₂
Finlandia	225	Luksemburg	550
Chorwacja	259	Wielka Brytania	550
Słowacja	324	Austria	623
Czechy	333	Niemcy	659
Litwa	385	Francja	704
Malta	390	Estonia	710
Włochy	406	Hiszpania	728
Węgry	424	Cypr	772
Grecja	424	Portugalia	772
Irlandia	453	Szwecja	772
Rumunia	486		

*sześć krajów członkowskich nie przedstawiło żadnych szacunków kosztowych: Belgia, Bułgaria, Dania, Łotwa, Holandia, Polska, Słowacja.

Źródło: opracowanie własne na podstawie Farm Europe. (2019). *Do NECPS from the 28 Member States meet EU transport decarbonisation targets?* Bruksela: Farm Europe.

Wykorzystując powyższe dane, można w sposób uproszczony oszacować koszty dekarbonizacji całego sektora transportu w Europie. Według danych za 2017 r. emisja GHG z sektora transportu drogowego w Europie wyniosła 945 871,55 kt, przy czym nie obejmują one emisji GHG z transportu lotniczego (158 266 kt) oraz morskiego (145 765 kt) (EEA, 2019b).

Średni koszt redukcji emisji CO₂ w Europie, wyliczony z planów NCEP na podstawie zadeklarowanych wartości, wynosi 521 EUR/t CO₂. Przyjmując taką stawkę redukcyjną jedynie dla transportu drogowego, można oszacować, iż jego całkowita dekarbonizacja w Europie będzie kosztowała około 492 mld EUR, czyli prawie 50% funduszy przeznaczonych na realizację całego EGD Investment Plan (1 bln EUR) (Komisja Europejska, 2020b).

Powyższy rachunek jest jedynie bardzo uproszczonym szacunkiem kosztów dekarbonizacji sektora transportu, ale dobrze ilustruje skalę wyzwania. Z dużym prawdopodobieństwem można jednak założyć, iż finalny koszt redukcyjny na Mg będzie jeszcze wyższy, ponieważ dekarbonizacja transportu lotniczego i towarowego, z uwagi na większe wyzwania technologiczne, będzie znacznie droższa niż koszty dla transportu pasażerskiego oraz dlatego, iż każdy kolejny krok (punkt procentowy redukcji) w kierunku całkowitej neutralności klimatycznej będzie trudniejszy i bardziej kosztowny.

Pomimo wymienionych wyzwań należy podkreślić, że neutralność klimatyczna transportu to nie jest cel wspierany jedynie przez wybrane organizacje i kraje. Jego osiągnięcie jest deklarowane przez wiele przedsiębiorstw i podmiotów prywatnych, często potentatów w branży motoryzacyjnej oraz logistyce i mobilności, m.in. armatora kontenerowego Maersk czy producenta paliw Shell, który założył do 2050 r. osiągnięcie neutralności klimatycznej w skali całego przedsiębiorstwa (Maersk, 2019; ST, 2020). Neutralność klimatyczna jest także formułowana jako cel strategiczny na niższych poziomach niż międzynarodowy lub krajowy. Na poziomie regionalnym są już miasta, które mają cele identyczne z tym wytyczonym przez władze samorządowe w Monachium (Niemcy). Planują one już od 2025 r. wykorzystywać wyłącznie odnawialne źródła energii, także w transporcie zbiorowym (Borunda, 2019).

Wiele ośrodków miejskich, jeśli nawet nie deklaruje wprost pełnej neutralności klimatycznej, to i tak podejmuje wiele działań i przyjmuje rozwiązania wspierające proces jej osiągania np. tylko dla sektora transportu. Przykładem może być projekt dzielnicy bez samochodów w mieście Utrecht (Hanley, 2020) lub plan *Paryż – miasto 15 minut* (Reid, 2020).

Ogólnym trendem światowym jest zwiększenie roli miast w międzynarodowych procesach decyzyjnych i przeniesienie na nie odpowiedzialności za coraz więcej aspektów rozwoju społeczno-gospodarczego, w tym ochronę środowiska. Jednocześnie należy podkreślić, że nawet przyjmowanie podobnych rozwiązań przez liczne samorzady i miasta nie zapewni neutralności całego sektora transportu, co jest celem EGD.

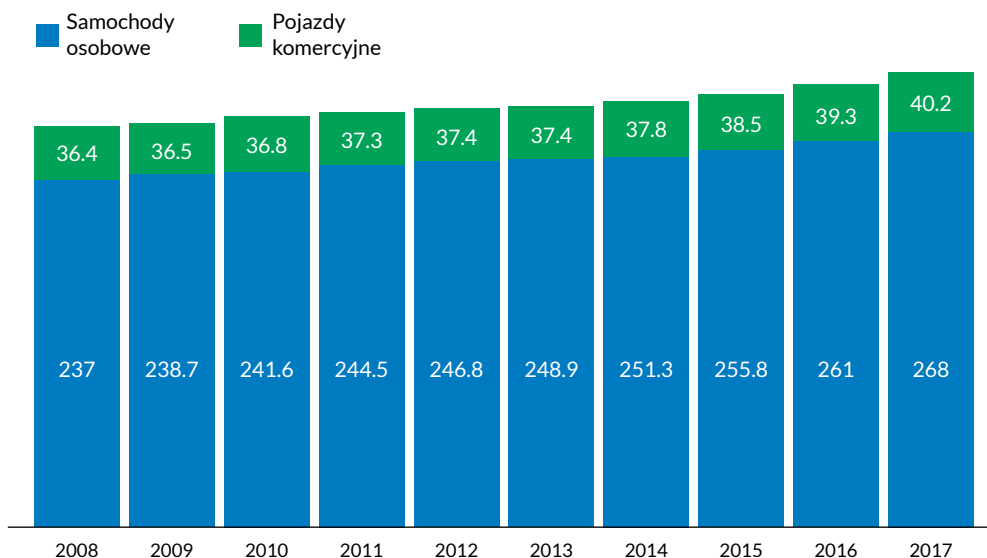
2. Analiza rynku motoryzacyjnego i postaw konsumenckich

Zastąpienie samochodu osobowego będącego podstawowym środkiem transportu jest zadaniem trudnym, gdyż posługiwanie się nim to nie tylko realizacja tradycyjnej funkcji przemieszczania się, ale zaspokajanie różnorodnych potrzeb społecznych i kulturowych. Rozpoczęcie masowej produkcji samochodów przez Henry'ego Forda na początku XX w. zainicjowało przemiany społeczno-ekonomiczne, których efektem było powstanie społeczeństwa traktującego motoryzację jako bardzo istotny czynnik kulturotwórczy (ang. *car-centered society*). Samochód na wiele dekad nie tylko stał się symbolem statusu społecznego, lecz także kształtował styl życia codziennego i odświętnego. Rozwój motoryzacji wpłynął na kształt i funkcjonowanie systemów gospodarczych na całym świecie, a także współkształtował paradygmaty rozwoju miast i planowania przestrzennego. Infrastruktura drogowa była przez wiele dekad czynnikiem determinującym lokalizację osiedli mieszkaniowych, stref przemysłowych oraz kompleksów turystycznych.

W Europie Zachodniej znaczący wzrost liczby samochodów nastąpił po II wojnie światowej, przy czym największy wzrost wskaźnika motoryzacji wystąpił w latach 1965–1985. Po 1985 r. liczba samochodów osobowych nieprzerwanie rosła, lecz w nieco wolniejszym tempie (Jeekel, 2013). W Europie Wschodniej, w tym w Polsce, największy wzrost liczby posiadanych pojazdów nastąpił dwie dekady później, po transformacji systemowej z początku lat 90. XX w. W części najbogatszych krajów OECD na początku lat dwutysięcznych odnotowano pierwsze zmiany w dotychczasowym trendzie i po raz pierwszy zaobserwowano redukcję roli samochodu osobowego. Zmiana nastawienia do motoryzacji w literaturze przedmiotu określana jest nazwą *peak travel* lub *peak car* (Millard-Ball, Schipper, 2011). W niektórych krajach Europy, m.in. w Holandii, Niemczech i Francji, wykorzystanie samochodu w codziennych podróżach zaczęło się zmniejszać, a liczba wydawanych praw jazdy maleć. Odnotowano także ustabilizowanie, a nawet spadek natężenia ruchu drogowego (Kuhnimhof et al., 2013; Caralampo, Christidis, 2017).

Wśród przyczyn tego zjawiska wymienia się m.in. czynniki ekonomiczne, np. koszt zakupu i utrzymania samochodu, ale także czynniki społeczne i kulturowe związane z zachodzącymi zmianami w stylu życia, co było widoczne zwłaszcza w Europie Zachodniej. Trend ten objął przede wszystkim ludzi młodych: pokolenie Y, tzw. millenialsów (osoby urodzone w latach 1980–1995), i pokolenia Z (osób urodzonych w 1996 r. i później). Zmiana wśród powyższych grup w podejściu do posiadania własnego samochodu jest utożsamiana m.in. z większą troską o środowisko i redukcją posiadania przedmiotów, ale także przesunięciem w czasie wejścia w dorosłe życie i braniem odpowiedzialności, z jaką wiąże się posiadanie samochodów (De Vos, Alemi, 2020).

Zjawisko spadku zainteresowania motoryzacją indywidualną ma jednak stosunkowo ograniczony zasięg występowania i nie zatrzymało ogólnego trendu w całej Europie. Wskazuje on jednoznacznie, iż liczba samochodów będących w użyciu w Europie cały czas wzrasta i np. w 2017 r. przekroczyła 300 mln egzemplarzy, przy wskaźniku motoryzacji dla UE-28 531 pojazdów/1000 mieszkańców (Rys. 7).

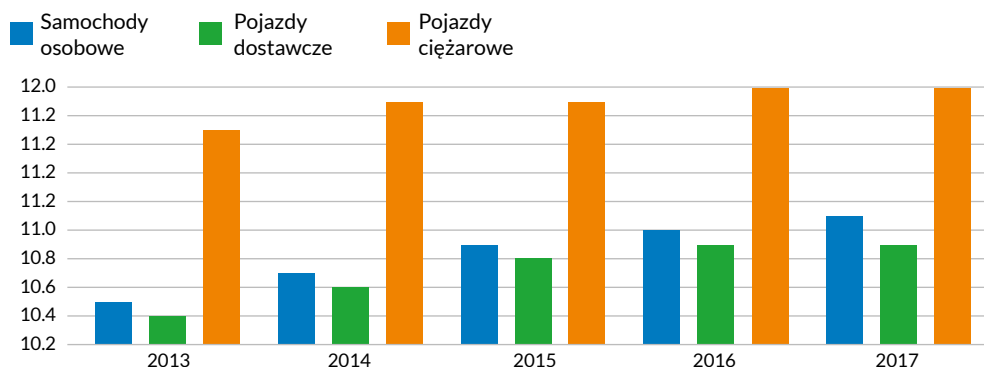


Rys. 7. Liczba samochodów w użyciu w Europie 2008–2017 (mln)

Źródło: ACEA, acea.be.

W wielu opublikowanych badaniach i sondażach, na poziomie deklaracyjnym, duża grupa konsumentów w Europie wspiera wprowadzenie proekologicznego rozwoju i koncepcję zrównoważonego transportu, jednak głębsza analiza mobilności Europejczyków oraz rynku samochodów osobowych nie potwierdza tego zjawiska. Poza wybranymi, szczególnymi rynkami, np. Norwegią, samochody o napędzie konwencjonalnym (ICE) stanowią cały czas olbrzymią większość sprzedawanych pojazdów. Można także zauważyć wyraźnie rosnącą popularność najmniej ekologicznych modeli pojazdów. W 2009 r. pojazdy typu SUV (ang. *sport utility vehicle*) stanowiły jedynie 7% rynku w Europie, a w 2018 r. już 36% i szacowano pod koniec 2019 r., że w 2021 r. ich sprzedaż osiągnie 40% wszystkich sprzedawanych pojazdów osobowych (T&E, 2019). Standardowy SUV emituje przeciętnie 15% więcej CO₂ (średnio 16 g/km) niż jego odpowiednik w wersji hatchback. Każdy wzrost udziału tego typu pojazdów na rynku o 1% wiąże się ze wzrostem średniej emisji z całego sektora transportu średnio o 0,15 g CO₂/km. Biorąc pod uwagę możliwość manipulowania wynikami badań laboratoryjnych prowadzonych przez większość wiodących producentów motoryzacyjnych (co udowodniono po wybuchu skandalu Dieselgate obejmującego wielu europejskich producentów samochodów osobowych), można podejrzewać, że rzeczywista skala emisji zanieczyszczeń oraz gazów cieplarnianych może być jeszcze większa, niż sądzono do tej pory.

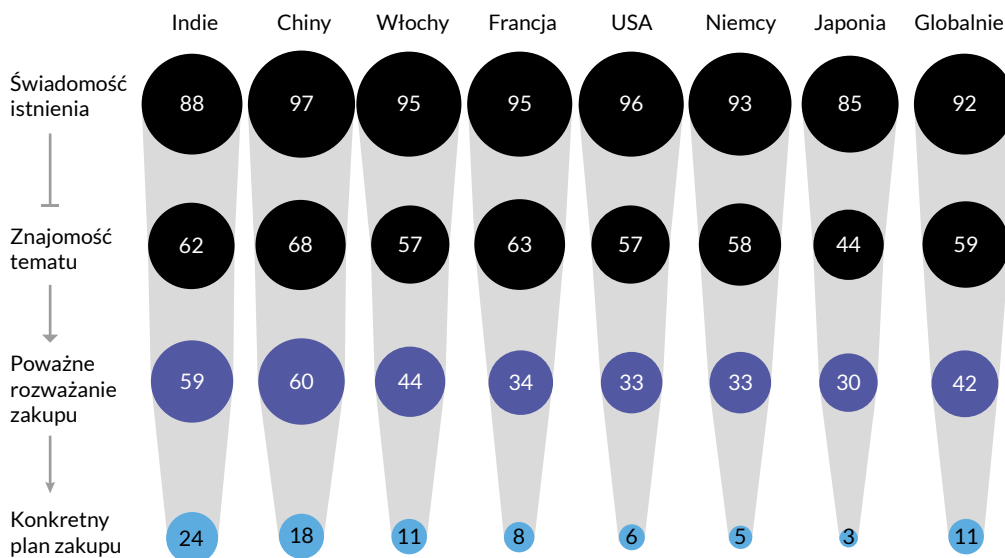
Kolejnym wskaźnikiem ilustrującym rzeczywiste zaangażowanie konsumentów w dekarbonizację transportu jest wiek pojazdów wykorzystywanych do zaspokajania potrzeb mobilności. Starsze samochody charakteryzują się gorszymi wskaźnikami emisji spalin i mniejszą efektywnością energetyczną. Mimo to średni wiek pojazdów używanych przez Europejczyków stale rośnie i to we wszystkich podstawowych kategoriach pojazdów, a w odniesieniu do samochodów osobowych jest szczególnie widoczny (Rys. 8).



Rys. 8. Średni wiek pojazdów w Europie

Źródło: <https://www.acea.be/statistics/article/average-age-of-the-eu-motor-vehicle-fleet-by-vehicle-type>

Podobne różnice, w deklarowanych i rzeczywistych działaniach, są widoczne wśród osób zgłaszających zainteresowanie kupnem samochodu elektrycznego. O ile świadomość na temat takich pojazdów globalnie jest już bardzo wysoka (prawie 100% wszystkich konsumentów), to bardziej szczegółową wiedzę na ten temat oraz poważne rozważenie zakupu deklaruje już dużo mniejszy odsetek respondentów (McKinsey, 2020). Podjęcie decyzji o zakupie auta elektrycznego deklaruje w Europie zaledwie kilka procent osób spośród tych, które zgłaszały wstępne zainteresowanie zmianą posiadanego samochodu ICE na pojazd BEV (Rys. 9).



Rys. 9. Różnice w deklaracjach nt. chęci zakupu BEV

Źródło: McKinsey. (2020). *ACES 2019 Survey: Can established auto manufacturers meet customer expectations for ACES?* Pozyskano z: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/aces-2019-survey-can-established-auto-manufacturers-meet-customer-expectations-for-aces#>

Podsumowanie

Zakładana w EGD neutralność klimatyczna sektora transportu w 2050 r. jest celem niezwykle ambitnym, którego osiągnięcie będzie bardzo złożonym i długotrwałym procesem. Powiązanie sektora transportu z „brudnymi” źródłami energii opartymi na ropie i węglach jest wyjątkowo silne i trudne do zmiany. Wiele aktualnych danych i trendów opisanych w prezentowanej pracy wskazuje, iż bez radykalnej transformacji sektora jest to cel praktycznie nie do osiągnięcia. Pomimo że na przestrzeni ostatnich dekad odnotowano bardzo istotną poprawę wskaźników emisyjności oraz efektywności energetycznej różnych gałęzi transportu, to zostały one zniwelowane przez praktycznie nieprzerwanie rosnący popyt na usługi transportowe.

Ograniczenie zależności od ropy naftowej i gazu ziemnego oraz rozwijanie alternatywnych źródeł energii też nie jest jednoznacznie opłacalne, zarówno z punktu widzenia ekonomicznego, jak i ochrony środowiska. Ponadto planowany proces dekarbonizacji na zakładaną skalę jest w dużej mierze nieprzewidywalny i obciążony wieloma ryzykami oraz ogromnymi kosztami. Dotyczą one także zachowań rynkowych i postaw konsumentów. Mobilność w Europie jest w dalszym ciągu oparta przede wszystkim na konwencjonalnych środkach transportu indywidualnego, a konsumenci pomimo proekologicznych deklaracji wykazują silne przywiązanie do posiadania samochodu osobowego. Duży wpływ na przebieg zmian ma zachowanie koncernów motoryzacyjnych i działających na ich zlecenie organizacji lobbingowych, które podsycają potrzebę kupowania samochodów osobowych. Zrozumienie potrzeb i zachowań ludzi to zatem także jeden z kluczowych obszarów dekarbonizacji transportu.

W pierwszych miesiącach 2020 r. na całym świecie ujawniła się duża wrażliwość sektora transportu na nieprzewidywalne czynniki zewnętrzne wywołane pandemią COVID-19. Niewątpliwie może ona trwale zmienić reguły przemieszczania się i zaspokajania mobilności, a w rezultacie mieć wpływ na dekarbonizację całego sektora transportu. W perspektywie 30 najbliższych lat, stanowiących horyzont dla celów EGD, można oczekiwać jeszcze co najmniej kilku podobnych *game-changers* dla sektora transportu. Dlatego wszelkie strategie dekarbonizacji powinny charakteryzować się elastycznym podejściem i możliwością dopasowania do zmieniającego się otoczenia.

Nie ma jednego rozwiązania odpowiadającego na wszystkie powyższe wyzwania. Jedynie systemowe i holistyczne podejście, uwzględniające zarówno inwestycje i rozwój innowacyjnych technologii oraz miękkie rozwiązania wpływające na ludzkie zachowania i preferencje, pozwolą na zbliżenie się do neutralnie klimatycznego transportu. Niezbędna jest także współpraca wszystkich interesariuszy na wszystkich poziomach: międzynarodowym, krajowym, regionalnym i miejskim, a działania nawet na najwyższym poziomie nie przyniosą pożądanego efektu bez oddolnego zaangażowania mieszkańców Europy.

Bibliografia

- Bahamonde-Birke, F. (2020). Who will bell the cat? On the environmental and sustainability risks of electric vehicles. *Transportation Research Part A*, 133.
- Boarnet, M. G., Sarmiento, S. (1998). Can land-use policy really affect travel behaviour? A study of the link between non-work travel and land-use characteristics. *Urban Studies*, 35(7).
- Borunda, A. (2019). *This is what cities need to do by 2050 to meet climate goals*. Pozyskano z: <https://www.nationalgeographic.com/environment/2019/09/zero-carbon-cities-future/>
- Carnevale, P., Sachs, J. D. (2019). *Roadmap to 2050: A Manual for Nations to Decarbonize by Mid-Century*. Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM), Sustainable Development Solutions Network (SDSN).
- Caralampo, F., Christidis, P. (2017). Peak Car in Europe. *Transportation Research Procedia*, 25.
- Clifton, K., Handy, S. (2001). Qualitative methods in travel behavior research. *International Conference on Transport Survey Quality and Innovation*. RPA.
- Department for Transport. (2020). *Decarbonising Transport: setting the challenge*. London: Great Minister House.
- De Vos, J., Alemi, F. (2020). Are Young adults car-loving urbanites? Comparing Young and older adults' residential location choice, travel behaviour and attitudes. *Transportation Research Part A*, 132.
- Edelstein, S. (2020). Audi Gives up on Level 3 autonomous driver-assist system in A8. *Motor Authority*. Pozyskano z: https://www.motorauthority.com/news/1127984_audi-gives-up-on-level-3-autonomous-driver-assist-system-in-a8
- European Environmental Agency. (2019a). *Greenhouse gas emissions from transport in Europe*. Pozyskano z: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-greenhouse-gases/transport-emissions-of-greenhouse-gases-12>
- European Environmental Agency. (2019b). *Total greenhouse gas emission trends and projections in Europe*. Pozyskano z: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/greenhouse-gas-emission-trends-6/assessment-3>
- European Parliament. (2020). *COVID-19: MEPs call for massive recovery package and Coronavirus Solidarity Fund*. Pozyskano z: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20200415IPR77109/covid-19-meps-call-for-massive-recovery-package-and-coronavirus-solidarity-fund>
- Farm Europe. (2019). *Do NECPS from the 28 Member States meet EU transport decarbonisation targets?* Bruksela: Farm Europe.
- Giuliano, G. (2003). Travel, location and race/ethnicity. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 37(4).
- Hanley, A. (2020). Utrecht Plans To Expand Its Car-Free Zone To Become Bicycle Capitol Of Europe. Pozyskano z: <https://cleantechnica.com/2020/03/15/utrecht-plans-to-expand-its-car-free-zone-to-become-bicycle-capitol-of-europe/>
- International Energy Agency. (2018). *World Energy Outlook 2018*. Paryż: IEA.

- International Energy Agency. (2019a). *The Future of Rail, Technology Report*. Pozyskano z: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-rail>
- International Energy Agency. (2019b). *World Energy Model Sustainable Development Scenario*. Pozyskano z: <https://www.iea.org/reports/world-energy-model/sustainable-development-scenario>
- International Energy Agency. (2020). *World Energy Outlook 2019*. Paryż: IEA.
- International Transport Forum. (2018a). *Priority Policies for Decarbonising Urban Transport*. Paryż: OECD/ITF.
- International Transport Forum. (2018b). *Towards Road Freight Decarbonisation Trends Measures and Policies*. Paryż: ITF/OECD.
- International Transport Forum. (2018c). *On Course Towards Carbon-neutral Shipping?* Paryż: ITF/OECD.
- Jeekel, H. (2013). *Car-dependent society: a European perspective*. Routledge.
- Jenn, A., Azevedo, I. L., Michalek, J. J. (2015). Alternative-fuel-vehicle policy interactions increase US greenhouse gas emissions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 124.
- Jiawei, C., Wang C., Chen, J. (2018). Investigation on the Selection of Electric Power System Architecture for Future More Electric Aircraft. *IEEE Transactions on Transportation Electrification* 4, 2.
- Komisja Europejska. (2016). *EU Reference Scenario 2016 Energy, transport and GHG emissions trends to 2050*. Bruksela: Directorate-General for Energy, Directorate-General for Climate Action and Directorate-General for Mobility and Transport.
- Komisja Europejska. (2018). *Final Report of the High Level Panel of the European Decarbonisation Pathways Initiative*. Bruksela: Directorate-General for Research and Innovation, Climate Action, Environment, Resource Efficiency and Raw Materials.
- Komisja Europejska. (2019). *Clean Energy for All Europeans Package*. Pozyskano z: https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans_en
- Komisja Europejska. (2020a). *A European Strategy for low-emission mobility*. Pozyskano z: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport_en
- Komisja Europejska. (2020b). *European Green Deal Investment Plan*. Pozyskano z: https://ec.europa.eu/info/publications/200114-european-green-deal-investment-plan_pl
- Kuhnimhof, T., Zumkeller, D., Chlond B. (2013). Who made peak car and how? A breakdown of trends over four decades in four countries. *Transport Reviews*, 3(33).
- Maersk. (2019). *Towards a zero carbon future*. Pozyskano z: <https://www.maersk.com/news/articles/2019/06/26/towards-a-zero-carbon-future>
- McKinsey. (2020). *ACES 2019 Survey: Can established auto manufacturers meet customer expectations for ACES?* Pozyskano z: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/aces-2019-survey-can-established-auto-manufacturers-meet-customer-expectations-for-aces#>
- Ministerstwo Aktywów Państwowych. (2019). *Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021–2030*. Warszawa: Ministerstwo Aktywów Państwowych.

- Millard-Ball A, Schipper, L. (2011). Are we reaching peak travel? Trends in passenger transport in eight industrialized countries. *Transport Reviews*, 30.
- Ng, W.-S., Acker, A. (2018). *Understanding Urban Travel Behaviour by Gender for Efficient and Equitable Transport Policies*. ITF Discussion Paper No 2018-01. Paryż: ITF/OECD.
- Paprocki, W. (2019). *Pojazd CASE (connected, autonomous, shared, electric) jako katalizator ewolucji systemów mobilności w gospodarce cyfrowej 4.0*. Warszawa: Seminarium Gospodarka Cyfrowa 4.0, Szkoła Główna Handlowa w Warszawie.
- Plötz, P., Árpád, S., Jochem, P. (2018). The impact of daily and annual driving on fuel economy and CO₂ emissions of plug-in hybrid electric vehicles. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 118(C).
- Recharge. (2020). *Special Report – Can renewables make airlines carbon-free by 2050?* Pozyskano z: <https://www.rechargenews.com/transition/special-report-can-renewables-make-airlines-carbon-free-by-2050-/2-1-778590>
- Reid, C. (2020). Every Street In Paris To Be Cycle-Friendly By 2024. *Forbes*. Pozyskano z: <https://www.forbes.com/sites/carltonreid/2020/01/21/phasing-out-cars-key-to-paris-mayors-plans-for-15-minute-city/#30bb59969521>
- Samson-Bręk, I. (2013). *Zastosowanie metody oceny cyklu życia LCA do oszacowania wpływu na środowisko wytwarzania palia biogazowego do silników spalinowych*. Warszawa: Przemysłowy Instytut Motoryzacji.
- Scania. (2018). *The Pathways Study: Achieving Fossil-Free Commercial Transport by 2050*. Pozyskano z: <https://www.scania.com/content/dam/group/sustainability/climate-day/white-paper-the-pathways-study-achieving-fossil-free-commercial-transport-by-2050.pdf>
- Schill, W. P., Gerbaulet, C. (2015). Power system impacts of electric vehicles in Germany: charging with coal or renewables? *Applied Energy*, 156.
- Straitstimes. (2020). *Oil giant Shell vows to become carbon neutral by 2050*. Pozyskano z: <https://www.straitstimes.com/world/europe/oil-giant-shell-vows-to-become-carbon-neutral-by-2050>
- Thomas, E., Mathieu, L., Cornelis, S., Kenny, S., Ambel, C., Nix, J. (2018). *Analysis of Long Haul Battery Electric Trucks in EU – Marketplace and Technology, Economic, Environmental, and Policy Perspectives*. Bruksela: European Federation for Transport and Environment.
- Transport and Environment. (2019). *Mission Impossible: How car makers can reach their 2021 CO₂ targets and avoid fines*. Pozyskano z: https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/T%26E_201909_Mission%20possible_vF.pdf
- Transport and Environment. (2020). *How clean are electric cars*. Pozyskano z: <https://www.transportenvironment.org/news/how-clean-are-electric-cars>
- Wingo, S. (2018). Introducing Vehicle 2.0. *Forbes*. Pozyskano z: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2018/10/18/introducing-vehicle-2-0/#2913132a630b>

Streszczenie

W ostatnich latach doszło do głębokich globalnych zmian w postrzeganiu problemu globalnego ocieplenia, a redukcja emisji GHG i neutralność klimatyczna stały się wiodącymi elementami w planowaniu strategicznym i prognozach długoterminowego rozwoju, m.in. w wizji Europejski Zielony Ład (ang. *European Green Deal*) przyjętej przez Unię Europejską w styczniu 2020 r. Niniejszy rozdział zawiera analizę możliwości osiągnięcia przez sektor transportu celów EGD obejmującą przede wszystkim zestawienie potencjalnych ścieżek dekarbonizacji obejmujących zmiany technologiczne, społeczne i regulacyjne. W pracy przedstawiono także prognozy dla kosztów całego procesu dekarbonizacji obrazujących skalę niezbędnej transformacji sektora. Ostatni fragment opracowania poświęcony jest analizie rynku motoryzacyjnego i aktualnych postaw konsumenckich w Europie, stanowiących istotny czynnik i wyzwanie dla skutecznej redukcji emisji GHG w sektorze transportu do 2050 r.

Słowa kluczowe: emisja GHG z sektora transportu, neutralność klimatyczna sektora transportu, Auto 2.0, Europejski Zielony Ład, cele klimatyczne 2050.

VEHICLE 2.0 - THE EVOLUTION OF THE AUTOMOTIVE INDUSTRY AND CONSUMER PREFERENCES IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE AND TRANSFORMATION OF MOBILITY NEEDS

SUMMARY

Over the last few years there have been a profound and global change in the approach to the problem of global warming. Mitigation of GHG emissions and carbon-neutrality have become one of the leading elements of various international strategies, initiatives and long-term development plans i.e. European Green Deal, declared by European Union in January 2020. This paper aims to analyse the feasibility of reaching the EGD targets in the transport sector and to present the potential decarbonisation pathways including technological, social and regulatory changes. The analysis focuses also on the potential costs of transport decarbonisation illustrating the scale and challenges of such transformation. Last part of the paper presents overview of the automotive market and present consumer preferences in Europe, being also an important factor of effective transport decarbonisation by 2050.

Keywords: transport carbon emissions, carbon-neutral transport, Vehicle 2.0, European Green Deal, 2050 climate targets.

JEL: O20, R40



Wojciech Szymalski

Doktor, absolwent Uniwersytetu Warszawskiego, Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych oraz Międzywydziałowych Studiów Ochrony Środowiska. Prezes Fundacji Instytut na rzecz Ekorozwoju. Stypendysta programów Erasmus (2003, Deventer), Deutsche Bundestiftung Umwelt (2008, Berlin). Alumni IVLP Departamentu Stanu USA (2016). Wiedzę i umiejętności z zakresu ochrony środowiska, rozwoju regionalnego, zrównoważonego transportu i partycypacji społecznej od 2004 r. wykorzystuje praktycznie w pracy w organizacjach pozarządowych.

<https://orcid.org/0000-0002-5107-0223>

Perspektywa ograniczenia emisji gazów cieplarnianych z transportu w metropolii – przypadek Warszawy

Wprowadzenie

Zmiana klimatu wymaga od ludzkości aktywnych działań, aby zapobiec jej negatywnym skutkom i nie doprowadzić do katastrofy klimatycznej na Ziemi. Już od końca lat 80. XX w. naukowcy ostrzegają, że zmiany klimatu należy zatrzymać na poziomie średniej globalnej temperatury o 2°C wyższej od średniej z 1750 r. W 2015 r. przywódcy ze 195 krajów zawarli w Paryżu porozumienie, w którym zwiększono jeszcze oczekiwania co do wzrostu temperatury do maksymalnie 1,5°C. Oznacza to przede wszystkim konieczność ograniczenia do 2050 r. emisji z działalności człowieka gazów cieplarnianych (GHG), głównie dwutlenku węgla, ale też metanu i podtlenku azotu, do poziomów, które umożliwią pochłonięcie ich przez ekosystem lub wprowadzone rozwiązania technologiczne.

Jednym ze źródeł emisji gazów cieplarnianych do atmosfery jest transport, odpowiedzialny w skali świata za 23% całkowitej emisji z działalności człowieka (Sims, Schaeffer et al., 2014). W Polsce emisja z transportu to 13% (KOBiZE, 2018, s. 74) emisji całkowitej, a w samej Warszawie ok. 16% (Urząd m.st. Warszawy, 2020). Obecnie większość samochodów spala paliwa pochodzenia organicznego: ropę naftową lub gaz ziemny, co powoduje emisję GHG. Nawet jeśli samochody w Polsce wykorzystują energię elektryczną, to powstające emisje gazów cieplarnianych nadal są na wysokim poziomie. W Polsce w 2018 r. na 1 kWh energii elektrycznej przypadało 0,792 kg CO₂ w miejscu jej produkcji (elektrowni), a 0,765 kg u odbiorcy końcowego (KOBiZE, 2019).

Oprócz emisji związanych ze spalaniem paliw w taborze transportowym istotny jest też problem liczby podróży oraz przewozów towarów wykonywanych codziennie na świecie, która od wielu lat nieprzerwanie rosła, co w konsekwencji powodowało zwiększoną wielkość emisji GHG aż do 2020 r., czyli pandemii COViD-19. W Polsce według danych Krajowego Ośrodka Badania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE) od 1988 do 2017 r. emisje dwutlenku węgla z transportu wzrosły z 24 mln Mg do 62,5 mln Mg (KOBiZE, 2018, s. 74), przy czym najszybszy wzrost przypadł na ostatnie lata tego okresu. Tymczasem wobec postępującej szybko zmiany klimatu (ocieplenia) konieczna jest globalna redukcja emisji.

Jednym z proponowanych remediów na wzrost emisji z transportu ma być wprowadzenie do powszechnego użytkowania samochodów elektrycznych. Na ten temat powstało już wiele raportów i opinii. Niektóre z nich twierdziły, że emisje gazów cieplarnianych po przejściu na elektromobilność wzrosną (Popczyk, 2016; Linhart,

2016), a niektóre, że się obniżą (Ministerstwo Energii, 2016). Ostatecznie w publicznej świadomości dominuje jednak przekonanie, że elektromobilność może się przyczynić do ograniczenia szkodliwych emisji z transportu, głównie pyłów i trujących gazów, np. tlenków azotu, a dodatkowo także gazów cieplarnianych. W prezentowanej pracy przedstawiono tezę o redukcji emisji gazów cieplarnianych w wyniku stosowania samochodów elektrycznych oraz niezbędne warunki, w których może to nastąpić – na przykładzie m.st. Warszawy.

1. Model emisji z transportu dla Warszawy

Fundacja Instytut na rzecz Ekorozwoju już w 2008 r. przygotowała metodykę obliczania emisji dla m.st. Warszawy, na podstawie której powstało pierwsze oszacowanie emisji w mieście. Obejmowało ono także sektor transportu. W kolejnych latach podobną metodykę zastosowano dla innych jednostek samorządu, w tym powiatów: poddębickiego, kwidzińskiego, starogardzkiego oraz miast Płock i Jaworzno (Fundacja InE, 2012–2015). W tym okresie szacowanie wielkości emisji odbywało się z wykorzystaniem danych o ruchu drogowym na głównych drogach oraz jego strukturze, w podziale na osobowy, towarowy i autobusowy. Dane te służyły do oszacowania zużycia przez pojazdy różnych paliw, przy zastosowaniu ogólnokrajowej ich struktury. Osobno szacowano emisje dla transportu publicznego na podstawie zużycia paliw przez przedsiębiorstwa transportowe. Następnie oszacowanie wielkości emisji było realizowane z wykorzystaniem standardowych wzorów dostarczonych w 2006 r. przez IPCC (Fundacja InE, 2015).

W 2015 r. Fundacja Instytut na rzecz Ekorozwoju zrealizowała 10 tzw. *Planów Gospodarki Niskoemisyjnej*, stosując udoskonaloną metodę. Dzięki współpracy z firmą Carbon Consus powstał model emisyjny, który w odniesieniu do transportu bardziej szczegółowo analizował strukturę taboru i wykorzystywał dane o liczbie pojazdów w poszczególnych jego kategoriach (osobowe, ciężarowe, autobusy), przy uwzględnieniu zróżnicowania pojemności silników i rodzaju stosowanych paliw. W celu obsługi tego modelu pozyskano dokładne dane o taborze pojazdów z Centralnej Ewidencji Pojazdów i Kierowców, natomiast dane o ilości spalanych paliw dla poszczególnych kategorii i pojemności silników zaczerpnięto z literatury lub uśredniano dane uzyskane od producentów pojazdów. W modelu nie wykorzystywano danych o natężeniu ruchu drogowego, a jedynie założenia o średnim rocznym przebiegu pojazdów na terenie danej gminy. Włączono zatem do niego moduł umożliwiający korzystanie z danych o ruchu drogowym, bo w analizowanych latach były one dostępne, przynajmniej dla jednej najważniejszej drogi. Tym samym powstał moduł pozwalający liczyć wielkość emisji z uwzględnieniem powyżej wskazanych danych.

Obecnie model wykorzystuje do obliczeń następujące dane:

- wielkość emisji zanieczyszczeń i gazów cieplarnianych oraz zużycie energii przez pojazdy,
- wielkość i rodzaj taboru na danym obszarze,
- natężenie ruchu drogowego na danym obszarze,
- wskaźniki emisyjne dla gazów cieplarnianych z różnych paliw.

1.1. Obliczenia w modelu

W modelu wykorzystano trzy wzory, które wiążą podane powyżej dane ze sobą, aby ostatecznym wynikiem była masa emitowanego (emisja) dwutlenku węgla (kg CO_2). Ogólną zależność pomiędzy danymi określa wzór:

$$Em = We_1 \times E_{F1} (V, Fe, T) + We_2 \times E_{F2} (V, Fe, T) + We_x \times E_{Fx} (V, Fe, T) \dots, \text{ gdzie:}$$

Em – masa emitowanego (emisja) dwutlenku węgla (kg CO_2);

We – wskaźnik emisyjny ($\text{kg CO}_2/\text{MWh}$) dla danego rodzaju paliwa (Fx);

E_{Fx} – energia wykorzystywana przez pojazd (MWh) dla danego rodzaju paliwa, która jest funkcją trzech zmiennych:

V – kompozycja taboru pojazdów (% – udział pojazdów danego typu w taborze);

Fe – efektywność wykorzystania paliwa przez pojazd ($\text{kWh}/100 \text{ km}$ lub $\text{l}/100\text{km}$);

T – wielkość ruchu drogowego (wozokm).

W praktyce składnik (E_{Fx}), określający wielkość zużywanej energii dla danego typu paliwa, jest obliczany pośrednio jako iloczyn ilości zużywanego paliwa danego rodzaju (Fx) przez wskaźnik opałowy, gęstość paliwa i odpowiedni wskaźnik (przelicznik), co ilustruje poniższy wzór:

$$E_{Fx} = Fx \cdot Wo \cdot Y \cdot 0,278, \text{ gdzie:}$$

Fx – ilość zużywanego danego rodzaju paliwa w m^3 ;

Wo – wskaźnik opałowy dla danego rodzaju paliwa w MJ/dm^3 (z danych KOBiZE);

Y – gęstość paliwa w kg/dm^3 ;

0,278 – współczynnik przeliczający MJ na MWh.

Powyższego wzoru nie stosuje się dla energii elektrycznej, gdyż wzór podany wcześniej wskazuje od razu ilość zużywanej energii w żądanych jednostkach (MWh).

Fx jest niewiadomą, która wiąże pozostałe niewykorzystane dotychczas zmienne w następujący sposób:

$$Fx = V_{Fx} \cdot T_{Fx} \cdot Fe, \text{ gdzie:}$$

V_{Fx} – udział (%) pojazdów spalających dany rodzaj paliwa w taborze danego typu pojazdów;

T_{Fx} – ruch drogowy danego typu pojazdów (wozokm);

Fe – efektywność zużycia energii (paliwa) przez dany typ pojazdu (w $\text{l}/100 \text{ km}$ lub $\text{kWh}/100 \text{ km}$).

1.2. Możliwości modelu

Opisany model pozwala nie tylko na obliczenie emisji gazów cieplarnianych z transportu w Warszawie, lecz także – poprzez modyfikację danych w poszczególnych wzorach – na symulację różnych stanów systemu transportowego w mieście

i określanie różnych związanych z nimi wielkości emisji dwutlenku węgla. Model daje też możliwość określenia różnych granicznych parametrów systemu transportowego w powiązaniu z systemem energetycznym. Można spróbować określić graniczne parametry dla zadanych z góry wielkości emisji dwutlenku węgla. W efekcie opisany model emisyjny pozwala na co najmniej następujące symulacje zmiany ilości emisji:

- 1) od składu taboru pojazdów,
- 2) od natężenia lub struktury ruchu drogowego,
- 3) od rodzaju stosowanego paliwa,
- 4) od podziału zadań przewozowych,
- 5) od wskaźników emisyjnych, zwłaszcza energii elektrycznej.

Wydaje się, że nowością w badaniu wielkości emisji w transporcie za pomocą modelu jest uwzględnienie wielkości ruchu drogowego konkretnej sieci drogowej wraz z jego strukturą.

1.3. Porównanie do innych modeli emisyjnych

Stosowane dotychczas modele emisyjne zwracały uwagę na wielkość ruchu drogowego w bardzo niewielkim zakresie. W zasadzie wielkość ta była określana za pomocą jednego wskaźnika, tzn. średniego przebiegu pojazdu w całości pojazdów danego typu, albo w całej flocie (*mileage per vehicle class*). Tak jest w modelach ogólnokrajowych. W taki sposób zostały określone zmiany emisji z transportu w polskim modelu emisyjnym, wykorzystanym do opracowania raportu Niskoemisyjna Polska 2050 (Bukowski et al., 2012, s. 74–89). W taki sposób obliczane są także emisje w Krajowym Raporcie Emisyjnym na potrzeby IPCC (KOBiZE, 2018, s. 78), który korzysta z metodyki COPERT IV. Tym sposobem wykonano symulacje zmiany emisyjności polskiej floty pojazdów dla raportu z projektu CAKE, który korzysta z modelu o nazwie TR³E (KOBiZE, 2019a, s. 25).

Bardziej zaawansowany sposób kalkulacji wielkości emisji został zastosowany w raporcie z 2018 r. przez proekologiczną organizację Transport&Environment (T&E, 2018). W modelu T&E uwzględniono pod względem mobilności nie tylko liczbę przejechanych kilometrów przez pojedynczy pojazd, lecz także wielkość ruchu potoku (osobowego lub towarowego) czy aktywność transportową względem PKB. Model ten nadal jednak nie uwzględnia faktycznego ruchu drogowego na konkretnej sieci drogowej. O ile na podstawie modelu T&E można powiedzieć, ile samochodów powinno być wymienionych przez pociągi, to brak jest możliwości wskazania konkretnych zmian niezbędnych do przeprowadzenia w sieci transportowej, szczególnie drogowej. Tymczasem decydentów w zakresie polityki transportowej interesuje głównie kształt sieci transportowej.

Ten mankament został do pewnego stopnia wyeliminowany w przedstawionym modelu, chociaż pominięto w nim inne składowe z poprzednich modeli (np. wielkości kolejowego ruchu towarowego, powiązania z PKB itp.).

2. Dane wykorzystane w modelu

Poniżej objaśniono, skąd pochodzą dane wykorzystane w modelu sporządzonym dla Warszawy w 2015 r., i zamieszczono ich opis.

2.1. Emisje i zużycie energii

Dla pojazdów z silnikami wykorzystującymi paliwa płynne lub gazowe, tj. benzyny, oleje napędowe, LPG lub CNG, a także pojazdy hybrydowe, wykorzystano dane z ogólnoeuropejskiej bazy o emisjach z pojazdów, tzw. COPERT (COPERT IV, 2018). W bazie są informacje m.in. o zużyciu energii w MJ/km i emisji w g/km, w podziale na poszczególne kategorie, np. dla pojazdów osobowych na: „mini”, „małe”, „średnie”, „duże”; i ze względu na rodzaj paliwa, typ silnika oraz okres produkcji. Okres produkcji określany jest pośrednio, ponieważ informacje o zużyciu energii i emisji podawane są dla pojazdów produkowanych w okresach obowiązywania poszczególnych norm dla producentów pojazdów (np. jeśli podane dane dla pojazdów osobowych spełniają normę EURO 1, to były one wyprodukowane w okresie 1992–1996).

Dane o czasie produkcji są istotne, gdyż dane o zużyciu energii przed wstawieniem do modelu są uśredniane ze względu na wiek pojazdów w określonym taborze. Dla każdego okresu produkcji zużycie energii przez pojazdy jest inne i dlatego obliczana jest jego średnia ważona dla analizowanego roku. Następnie zużycie, podane w bazie COPERT dla poszczególnych okresów, jest mnożone przez udział pojazdów wyprodukowanych w poszczególnych latach. Wiek pojazdów udostępniają dane GUS.

Przykład obliczeń dla samochodów osobowych klasy średniej z silnikami diesla przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Wielkość zużycia energii dla pojazdów osobowych klasy średniej z silnikiem diesla w Polsce

Dane GUS		Dane COPERT IV		Obliczenia	
Wiek samochodu	Liczba pojazdów w danym wieku	Rok produkcji wg norm emisji	Zużycie energii przez samochody osobowe na km, klasa średnia		
	A		B	AxB	AxB/C
26–30 lat	65603	1992–1995	2,4467	160510,86	0,1648
21–25 lat	72856	1996–2000	2,3893	174074,84	0,1787
16–20 lat	125662	2000–2005	2,2325	280540,42	0,2880
10–15 lat	196924	2005–2010	2,2325	439632,83	0,4513
6–9 lat	167601	2011–2015	2,2325	374169,23	0,3841
0–5 lat	345504	2015–2020	2,2325	771337,68	0,7918
Suma – C	974150			Wynik – D	2,2587

Źródło: opracowanie własne.

Dla pojazdów elektrycznych określono zużycie energii w kWh/100 km, zgodnie z tematycznymi publikacjami. Zużycie energii elektrycznej dla autobusów określono na podstawie informacji dla testowego autobusu elektrycznego z Warszawy (2015 r.),

które wynosiło 100kWh/100 km (Jandula, 2016). Wielkość zużycia energii elektrycznej przez samochody osobowe przyjęto jako średnią wartość (18 kWh/100 km) danych podanych dla testów NEDC (RaveN, 2012) i przeglądu literatury (11–24 kWh/100 km) (Chłopek, 2012; Bakun, 2015; Maciejczyk, 2017). Podobnie postąpiono przy określeniu wielkości zużycia energii dla samochodów dostawczych, określając ją na poziomie 28 kWh/100 km (rozpiętość podana w literaturze 22–100 kWh/100 km) (Camillieri, 2018; Prohaska, 2016, s. 14; Liitmatainen, van Vlietb, Aplynb, 2019). Dla ciągników siodłowych zużycie energii określono na poziomie 145 kWh/10 km (Wysokie Napięcie, 2019; Earl et al., 2018), dla skuterów 5 kWh/100 km i motocykli 9 kWh/100 km. Część informacji, dotyczącą głównie komunikacji publicznej w Warszawie, uzyskano korespondencyjnie od spółek odpowiadających za obsługę komunikacyjną miasta. Dane te dotyczyły głównie zużycia energii elektrycznej przez tramwaje (Tramwaje Warszawskie Sp. z o.o.), metro (Metro Warszawskie Sp. z o.o.) i pociągi miejskie (Szybka Kolej Miejska w Warszawie Sp. z o.o.).

2.2. Tabor pojazdów

Wykorzystano głównie dane GUS, pochodzące z Centralnej Ewidencji Pojazdów i Kierowców (GUS, 2004–2020). Dla uzupełnienia brakujących danych, np. w zakresie liczby pojazdów elektrycznych lub hybrydowych, wykorzystano informacje z artykułów prasowych (Urząd m.st. Warszawy, 2016). Informacje o wieku pojazdów osobowych, ciężarowych i innych pozyskano z danych udostępnionych w tym zakresie. Do określenia średniego zużycia energii przez pojazdy w 2015 r. wykorzystano dane o ich wieku z tzw. COPERT.

Wykorzystano także dane o liczbie pojazdów osobowych w zależności od pojemności silnika oraz o liczbie pojazdów ciężarowych według DMC. Dane te posłużyły do dalszych obliczeń w analizowanym roku. Baza danych COPERT podaje zużycie paliwa dla pojazdów osobowych, w podziale na segmenty, które można utożsamić z informacjami GUS dotyczącymi podziału pojazdów osobowych w zależności od pojemności silnika. Segment pojazdów „mini” i „mały” w bazie COPERT odpowiadałby samochodom o pojemności silnika do 1399 cm³ w bazie GUS. Konsekwentnie segment „średni” odpowiadałby pojazdom o pojemnościach 1400–1999 cm³, a segment „duży-SUV” pojazdom o pojemnościach od 2000 cm³. Dla niskich pojemności silnika przyjęto, że segment „mini” stanowi 5%, a „mały” 95% tej części floty, bo taki podział w danych GUS nie występuje.

Dane COPERT oraz dane GUS dzielą pojazdy ciężarowe w różny sposób. COPERT wydziela dwie kategorie: lekkie pojazdy komercyjne oraz pojazdy ciężkie, a GUS jedynie kategorię pojazdy ciężarowe. Obydwie bazy dzielą pojazdy ciężarowe według masy, ale znów każda inaczej. Aby dokonać uśrednienia zużycia paliwa przyporządkowano przedziały z poszczególnych baz danych w następujący sposób:

- lekkie pojazdy komercyjne w bazie COPERT odpowiadają pojazdom ciężarowym do 3,5 t DMC w bazie GUS;
- ciężkie pojazdy do 14 t w bazie COPERT odpowiadają pojazdom ciężarowym od 3,5 t do 15 t DMC w bazie GUS;

- pojazdy ciężkie powyżej 14 t DMC w bazie COPERT odpowiadają pojazdom ciężarowym powyżej 15 t DMC w bazie GUS.

Średnie zużycie obliczono jako średnią ważoną, mnożąc poszczególne obliczone wielkości zużycia energii dla typów pojazdów (według pojemności silnika dla samochodów osobowych lub według tonażu dla pojazdów dostawczych) przez udział danego typu pojazdów w tej części floty, np. udział samochodów osobowych o pojemności silnika powyżej 2000 cm³ we flocie samochodów osobowych.

Do obliczeń potrzebne były także dane o liczbie pojazdów różnych typów według rodzaju spalanej paliwa: benzyny, oleju napędowego, gazu ciekłego (LPG), gazu sprężonego (CNG) oraz biodiesla, a także samochody hybrydowe (benzynowe). Takie dane są dostępne w zasobach Banku Danych Lokalnych GUS i były praktycznie bezpośrednio wstawione do modelu emisyjnego, z uwzględnieniem redukcji liczby pojazdów o wieku powyżej 30 lat.

Z ogólnej liczby pojazdów różnych typów podanych przez GUS wyłączono pojazdy o wieku przekraczającym 30 lat. Wielu ekspertów, m.in. instytut SAMAR (SAMAR, 2020; AUTOCENTRUM, 2015; Drzewiecki, 2019; Kołsut, Gadziński, 2019) uważa, że polskie dane z systemu CEPIK, reprodukowane w GUS, są znacząco zawyżone, ponieważ uwzględniają pojazdy, dla których nie aktualizowano dowodu rejestracyjnego po 7 latach od ostatniej rejestracji. W praktyce są to pojazdy nieuprawnione do poruszania się po drogach, być może już dawno zniszczone i niewyrejestrowane przez właścicieli. Nie mając dostępu do danych SAMAR, wyłączono ze statystyki podanej przez GUS pojazdy starsze niż 30 lat. Oznaczało to, że dla Warszawy liczba uwzględnionych w obliczeniach motocykli obniżyła się o 18% (34 122 szt.), samochodów osobowych – o 14% (974 140 szt.), autobusów – o 12% (3 111 szt. bez komunikacji miejskiej), samochodów ciężarowych – o 11% (152 957 szt.), a skuterów – o 5% (20 422 szt.) w stosunku do niezmodyfikowanych danych GUS.

Tabor autobusów komunikacji miejskiej określono na podstawie informacji pochodzących z ZTM, dostępnych w prezentacjach i artykułach prasowych (IGKM, 2015, s. 48–51). Dane GUS podają bowiem liczbę pojazdów komunikacji miejskiej, ale jedynie przewoźników komunalnych, podczas gdy w Warszawie część przewozów jest realizowana przez przewoźników komercyjnych na zamówienie organizatora przewozów. Przyjęto, że w 2015 r. eksploatowano łącznie 1759 sztuk autobusów komunikacji miejskiej.

Model nie uwzględnia natężenia ruchu pojazdów wolnobieżnych, np. ciągników rolniczych. Nie znaleziono miarodajnych danych o zużyciu energii dla tego typu pojazdów. Nie może to istotnie wpływać na wyniki badania, gdyż w skali ruchu drogowego w mieście jest to zaledwie 0,2 promila.

2.3. Natężenie ruchu drogowego

Dane o natężeniu ruchu drogowego pochodzą z kilku różnych źródeł, m.in.: Warszawskiego Badania Ruchu (WBR) w 2015 r. (Kostecka et al., 2015) (informacje ze 143 punktów w mieście), Generalnego Pomiaru Ruchu (GPR) w 2015 r. (Opoczyński et al., 2016) (informacje o ruchu w 19 punktach miasta) oraz automatycznych pomiarów

ruchu, prowadzonych przez Zarząd Dróg Miejskich (ZDM) w 2015 r. (ZDM, 2012–2020) (informacje z 40 punktów miasta). Łącznie ruch mierzony w podanych miejscach reprezentuje 492,3 km sieci drogowej miasta, czyli 26,3% jej ogólnej długości (GUS, 2004–2020)¹.

Dane z ponad 26% długości sieci drogowej są wystarczające do obliczenia wielkości emisji z prawie całego ruchu drogowego. Można bowiem utworzyć z niej siatkę o powierzchni równej powierzchni miasta, której oka będą miały bok niewiele dłuższy od 2,5 km. Oznacza to, że jeśli źródła i cele ruchu w wyznaczonej siatce drogowej znajdują się poza siecią głównych dróg, to najdłuższą drogą dojazdu do celu, której nie obejmuje pomiar, będzie 2,5 km. Średnia długość podróży jednym pojazdem, według wykorzystywanego modelu wynosi 16,1 km, a więc model nie obejmuje ok. 15,7% długości podróży. O tyle można skorygować obliczenie wielkości emisji w modelu, już po otrzymaniu wyniku, ale tego nie wykonano.

W pierwszych dwóch źródłach: WBR i GPR, dostępne były dane o sumarycznym dobowym ruchu drogowym oraz o jego strukturze ruchu, tzn. liczbie pojazdów poszczególnych kategorii (osobowych, ciężarowych, dostawczych itp.) przejeżdżających w ciągu doby danym odcinkiem drogi. Z ostatniego źródła (ZDM) możliwe było jedynie wykorzystanie informacji o sumarycznym ruchu drogowym w ciągu doby, gdyż nie jest śledzona jego struktura. Aby ją uzyskać, uśredniono struktury ruchu ze wszystkich punktów pomiarowych podanych przez WBR i GPR oraz wykorzystano ją do policzenia struktury ruchu w punktach pomiaru podanych przez ZDM.

Podstawowe obliczenie emisji przeprowadzono dla 2015 r., ponieważ dla tego roku dostępne było najwięcej wyników badań natężenia ruchu. Niestety był to jednak rok dość wyjątkowy dla komunikacji samochodowej w Warszawie. Od połowy lutego do końca października zamknięty był most Łazienkowski, ze względu na przebudowę wymuszoną pożarem. Do połowy września ograniczony był ruch na moście Grota-Roweckiego, ponieważ kończyła się jego przebudowa. Obiekty te należą do najważniejszych mostów w mieście i ograniczanie na nich ruchu drogowego wywoływało znaczne zakłócenia w ruchu. Na szczęście pomiary z różnych wykorzystanych źródeł nakładają się na siebie tak, że możliwe jest włączenie do prezentowanego modelu ruchu drogowego na nich w okresach, kiedy były czynne. Na moście Łazienkowskim ZDM wykonał jeden pomiar, już po jego ponownym uruchomieniu i został on wykorzystany jako miarodajny dla 3,5 miesiąca w roku (styczeń, luty, listopad, grudzień), kiedy most funkcjonował. Natomiast most Grota-Roweckiego ma trzy pomiary: WBR z okresu remontu – wykorzystano je dla okresu od stycznia do września, GPR z okresu tuż po otwarciu – wykorzystano dla okresu wrzesień–październik oraz ZDM pod koniec roku – wykorzystano dla okresu listopad–grudzień.

Struktura ruchu drogowego, określona na podstawie WBR i GPR, zawiera informacje o ruchu pojazdów (autobusów) komunikacji miejskiej. W każdym punkcie pomiarowym pewną część ruchu stanowiły autobusy miejskie. Aby wykluczyć możliwość podwójnego liczenia emisji z komunikacji miejskiej, w module dotyczącym ruchu drogowego obniżono poziom ruchu drogowego autobusów do poziomu

¹ Według Banku Danych Lokalnych GUS drogi powiatowe i gminne w Warszawie w 2015 r. miały 1994,6 km.

ruchu wykonywanego jedynie przez autobusy inne niż świadczące usługi na rzecz ZTM. Poziom tego ruchu określono na podstawie danych WBR. Liczbę zliczonych na punktach pomiarowych wszystkich autobusów innych niż na usługach ZTM (5 762) podzielono przez liczbę wszystkich zliczonych autobusów w punktach pomiarowych (13 406). Otrzymano w ten sposób wskaźnik równy 0,4298. Wielkość ruchu autobusów określoną na podstawie badań ruchu pomnożono przez ten wskaźnik, uzyskując szacunek wielkości ruchu nieobsługiwanej przez pojazdy na usługach ZTM.

Dane o ruchu drogowym autobusów i innych pojazdów wyrażone w wozokm pochodziły dla części obliczeń wielkości emisji spowodowanej przez komunikację miejską w Warszawie z biuletynów statystycznych Zarządu Transportu Miejskiego (ZTM, 2015–2020) lub GUS (2004–2020a).

2.4. Wskaźniki emisyjne gazów cieplarnianych

Wykorzystano wskaźniki emisyjne udostępnione przez KOBiZE, prowadzony przez Instytut Ochrony Środowiska-Państwowy Instytut Badawczy (IOŚ-PIB). Są to wskaźniki emisji CO₂ oraz wskaźniki opałowe w 2015 r. do raportowania w ramach Wspólnotowego Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za 2018 r. (KOBiZE, 2018a). Natomiast emisyjność energii elektrycznej z polskiej sieci elektroenergetycznej to wskaźnik emisyjności dla energii elektrycznej za 2015 r. opublikowany w lutym 2017 r. (KOBiZE, 2017).

3. Wyniki obliczeń dla Warszawy w 2015 roku

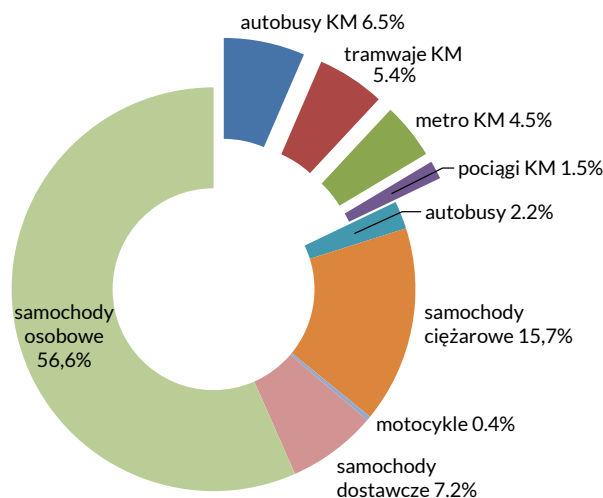
Wyniki wielkości emisji uzyskane przy zastosowaniu przedstawionego modelu dotyczą 2015 r. Podane wyniki są wielkością emisji dla jednego dnia, mającego charakter dnia powszedniego. Pojazdy wykonujące usługi transportu publicznego na rzecz ZTM w takim dniu emitują 892 Mg dwutlenku węgla, a pozostałe środki transportu samochodowego – 4096 Mg. Łączna wielkość emisji CO₂ wynosi 4988 Mg. Przy założeniu, że w każdym dniu wielkości emisji są takie same, roczna ich wielkość osiąga 1 820 620 Mg dwutlenku węgla. Jest to wynik porównywalny z wykonywanymi od 2008 r. przez Urząd m.st. Warszawy szacunkami. Dla 2014 r. było to 1 767 251 Mg, a dla 2016 r. – 1 851 268 Mg rocznie (Tab. 2).

Tab. 2. Szacunkowe roczne wielkości emisji dwutlenku węgla z transportu w Warszawie

	Dane Urzędu m.st. Warszawa (2020)			Obliczenia własne	Dane Urzędu m.st. Warszawa	
	2010	2012	2014		2015	2016
Emisja CO ₂ z transportu w Warszawie (Mg)	1 770 122	1 791 757	1 767 251	1 820 620	1 851 268	1 849 301

Źródło: opracowanie własne na podstawie obliczeń według analizowanego modelu (2015) oraz wykonanych przez Urząd m.st. Warszawy (2010, 2012, 2014, 2016, 2018).

W 2015 r. za ok. 82% emisji odpowiada transport drogowy (ciężarowy oraz osobowy), natomiast za ok. 18% – transport publiczny. Za największą część emisji, bo aż ok. 56%, odpowiada motoryzacja indywidualna, ok. 15% – ciężki transport ciężarowy, a ok. 7% – transport samochodami dostawczymi. W sumie daje to ponad 22% emisji z transportu ciężarowego. Niewielka część emisji przypada na autobusy poza usługami publicznymi (2,2%) oraz jest spowodowana przez skutery i motocykle (0,3%). W transporcie publicznym największa część emisji przypada na autobusy (6,5%), mniejsza – na tramwaje (5,4%), metro (4,5%) i kolej miejską (1,5%). Emisji nie powoduje jedynie transport rowerowy, chociaż nie były analizowane żadne dane dotyczące rowerów i hulajnóg elektrycznych. Zestawienie udziału poszczególnych środków transportu w wielkości emisji w 2015 r. pokazano na rysunku (Rys. 1).



Rys. 1. Struktura udziału wielkości emisji dwutlenku węgla z transportu w Warszawie w 2015 r.

Źródło: opracowanie własne.

4. Wizja uwzględniająca 100% udział pojazdów elektrycznych w transporcie w Warszawie

Dane o całkowitej wielkości emisji dwutlenku węgla z transportu w Warszawie pozwalają rozważać różne warianty jej redukcji. W pierwszej kolejności rozpatrywany jest wariant, w którym wszystkie samochody będą elektryczne (scenariusz A). W wariantcie tym o redukcji wielkości emisji nie decyduje tylko liczba samochodów elektrycznych, ale wskaźnik emisyjny polskiej energii elektrycznej. W 2015 r. wskaźnik ten był na poziomie 0,798 kg CO₂/kWh (KOBiZE, 2017). Przedmiotem analizy jest potencjalny efekt możliwy do osiągnięcia, jeśli przy tym wskaźniku emisyjności wszystkie pojazdy z silnikami spalinowymi zostaną zastąpione pojazdami elektrycznymi (autobusy komunikacji miejskiej, samochody osobowe, motocykle, samochody dostawcze oraz ciężkie samochody ciężarowe). Z kalkulacji wykonanej w modelu wynika,

że wielkość całkowitej emisji się obniży, ale jedynie o 16%. Mniejsze jej ograniczenie nastąpi w transporcie publicznym (8%), co wynika z jego struktury, różnej pod względem typu napędu. Już obecnie 50% kursujących po Warszawie pojazdów komunikacji miejskiej jest wyposażone w napęd elektryczny (tramwaje, metro, pociągi).

Z przedstawionych na początku 2020 r. przez polski rząd dokumentów strategicznych dotyczących polityki energetycznej wynika, że węgle, kamienny i brunatny, będą w ok. 50% jeszcze w 2050 r. nadal obecne w strukturze produkcji energii elektrycznej (Ministerstwo Aktywów Państwowych, 2019). Oznacza to, że wskaźnik emisyjny polskiego prądu będzie co najmniej na poziomie 0,500 kg CO₂/kWh. Natomiast, zgodnie z polityką klimatyczną, w 2050 r. cały świat powinien osiągnąć stan bilansu o zerowej emisji. Może być zatem emitowane tylko tyle gazów cieplarnianych, ile biosfera lub wdrożone nowoczesne, innowacyjne technologie będą w stanie ich pochłoniąć. W przeciwnym razie nie zostaną wypełnione zobowiązania podjęte w 2015 r. w Paryżu, zapisane w tzw. porozumieniu paryskim. Aby nastąpił stan neutralności klimatycznej, według naukowców musi na całym świecie zostać osiągnięte ograniczenie emisji na poziomie 80–95% w stosunku do 1990 r. Nie ma dostępnych danych o ilości dwutlenku węgla wyemitowanego w Warszawie w 1990 r., a zwłaszcza ile wyemitował transport. Można założyć, że wystarczy, aby 80% redukcji wielkości emisji nastąpiło względem 2015 r. Wówczas emisje z transportu w Warszawie powinny osiągnąć 997 Mg dziennie. Poniżej sprawdzono, czy taką redukcję emisji da się osiągnąć przy określonym wskaźniku emisyjnym (0,500 kg CO₂/kWh) i przyjęciu, że wszystkie pojazdy są elektryczne.

Całkowite ograniczenie emisji z warszawskiego transportu przy takich założeniach (scenariusz A1) osiągnie 46,6%, z tego 42% w transporcie publicznym oraz 47% w pozostałym transporcie drogowym i motoryzacji indywidualnej. Całkowita emisja wyniesie 2661 Mg dziennie, czyli ponad 2,5 razy więcej niż wymagana do 80% jej ograniczenia. Jeśli będzie duża presja społeczna, aby wypełnić zobowiązania w zakresie ochrony klimatu (redukcji wielkości emisji), to należy zastosować dodatkowe rozwiązania. Jednym z nich może być ograniczenie ruchu drogowego, nie tylko samochodów osobowych, lecz także transportu publicznego i towarowego. Takie ograniczenie wprowadzono w scenariuszu B, który osiąga wymagany dla neutralności klimatycznej poziom emisji. Osiągnięcie celu wynika z:

- ograniczenia o 95% indywidualnej komunikacji samochodowej,
- ograniczenia o 40% ruchu samochodów dostawczych i ciężkich towarowych,
- ograniczenia o 50% ruchu transportu publicznego,
- wzrostu 30-krotnego ruchu skuterów oraz motocykli, a także do 70-krotnego wzrostu ruchu rowerowego.

Ze względu na tak drastyczne ograniczenia w tak skomponowanym wariantcie ruchu drogowego pozostaje nieobsłużone 50% dzisiejszej liczby pasażerów transportu publicznego, a 40% dziś przewożonych towarów prawdopodobnie pozostanie bez obsługi logistycznej. Wiele dzisiaj istniejących ulic, a przede wszystkim szerokich tras komunikacyjnych, będzie w dużej mierze niewykorzystane pod względem przepustowości, bowiem natężenie ruchu pojazdów może będzie podobne do dzisiejszego, ale będą w nim uczestniczyć głównie pojazdy zajmujące znacznie mniej miejsca – skutery i rowery.

5. Scenariusze ograniczenia ruchu drogowego a emisja CO₂

W świetle przedstawionych powyżej słabości scenariuszy A i B pożądanym jest poszukiwanie innych rozwiązań, których zastosowanie pozwoliłoby na dotrzymanie przez władze Warszawy zobowiązań wyznaczonych na 2050 r. Należy dążyć przede wszystkim do tego, aby produkcja energii elektrycznej w Polsce do 2050 r. była zeroemisyjna (0,000 kg CO₂/kWh). Unia Europejska zakłada, że taka energia będzie dostępna w całej Europie już w 2040 r., ale gdyby jednak nie było to możliwe w Warszawie, to warto sprawdzić, przy jakiej emisyjności energii będzie wystarczająca do osiągnięcia poziomu emisji równoważnej neutralności klimatycznej i zachowania obecnego poziomu ruchu drogowego. Według omawianego modelu ograniczenie emisji z transportu ulegnie o 80%, gdy wszystkie pojazdy będą elektryczne oraz emisyjność energii będzie wynosić 0,187 kg CO₂/kWh. Takie warunki oferują dziś jedynie sieci energetyczne Francji i Szwecji. W pozostałych krajach emisyjność jest powyżej 0,200 kg CO₂/kWh (Moro, Lonza, 2018).

Jeśli jednak Warszawa, a wraz z nią cała Polska miałyby problemy z osiągnięciem emisyjności energii elektrycznej poniżej obliczonego poziomu, to rozwiązaniem może znowu być ograniczenie ruchu pewnych typów pojazdów. Przeprowadzono zatem symulację ograniczenia ruchu drogowego w stosunku do 2015 r., przy założeniu zachowania mobilności ludności. Założono, że wszystkie podróże wycofane z indywidualnej komunikacji samochodowej będą mogły być obsługane przez komunikację publiczną, bo wzrosną jej możliwości przewozowe. Nie zmieniono jednak ruchu drogowego związanego z przewozem towarów. Aby przeprowadzić te symulacje, wprowadzono do modelu moduł pozwalający na obliczenie ww. zmian w sposobie podróżowania, tzw. *modal shift*.

5.1. Opis modułu *modal shift*

Do przeliczenia zmian w ruchu drogowym i zużyciu energii przy zamianie podróży z indywidualnych samochodowych na realizowane transportem zbiorowym służy dodatkowy moduł modelu. Oblicza się w nim, ile zaoszczędzonych wozokilometrów przez samochody osobowe powinno być zastąpione przez wozokilometry różnych rodzajów transportu publicznego i jak to wpływa na ilość zużytej energii. Aby skonstruować taki moduł, potrzeba dodatkowych założeń. Po pierwsze, obliczono całkowitą liczbę pasażerów przewożonych samochodami, przy założeniu, że na 1 samochód przypadają 1,2 osoby podróżujące (Kostecka et al., 2015, s. 20). Dodatkowo uwzględniono dane o długości każdej podróży, pochodzące z podzielenia liczby realizowanych wozokm przez liczbę pojazdów. Uzyskano wynik 16,1 km. Po drugie założono, że każda nowa podróż komunikacją miejską musi generować co najmniej 20% więcej jej wozokm niż dotychczas. Aby obliczyć energochłonność jednego wozokilometra różnych pojazdów komunikacji miejskiej według danych GUS na 2015 r., wykorzystano dane o ilości zużywanej energii przez różne pojazdy ze scenariusza z wszystkimi pojazdami elektrycznymi. Policzone także, z danych GUS, ilu pasażerów przypada na

1 wozokm realizowany przez pojazdy komunikacji miejskiej. Następnie założono, że struktura przewozu pasażerów będzie taka sama, jak w 2015 r.²

Mając takie założenia i dane, policzono np., że ograniczenie ruchu samochodowego o 25% spowoduje konieczność przewiezienia dodatkowych 292 tys. osób dziennie komunikacją miejską. Wygeneruje to dodatkowo ponad 36 tys. wozokm dla autobusów, ponad 16 tys. wozokm dla tramwajów, ponad 10 tys. wozokm dla metra i ponad 5 tys. wozokm dla kolei miejskiej dziennie. Oznacza to wzrost ogólnej liczby wozokm komunikacji miejskiej w Warszawie o ok. 1/3 w stosunku do 2015 r. i zużycia dodatkowej energii elektrycznej w ilości ok. 142 MWh dziennie.

6. Wyniki obliczeń z użyciem modułu *modal shift*

Dzięki takiemu postępowaniu można stwierdzić, że przy wykorzystywaniu jedynie pojazdów elektrycznych energia elektryczna pozwalająca na 80% ograniczenie emisji w stosunku do 2015 r. musi mieć wskaźnik emisyjny wynoszący:

- 0,210 kg CO₂/kWh przy ograniczeniu ruchu samochodów osobowych w Warszawie o 25% na rzecz komunikacji miejskiej – scenariusz C;
- 0,237 kg CO₂/kWh przy ograniczeniu ruchu samochodów osobowych w Warszawie o 50% na rzecz komunikacji miejskiej – scenariusz D;
- 0,275 kg CO₂/kWh przy ograniczeniu ruchu samochodów osobowych w Warszawie o 75% na rzecz komunikacji miejskiej – scenariusz E.

Ograniczenie ruchu może oznaczać rezygnację z inwestycji w nowe moce w energetyce. Bez ograniczenia ruchu, przy zamianie wszystkich samochodów i autobusów komunikacji miejskiej w Warszawie na pojazdy elektryczne, trzeba im zapewnić dodatkową energię wysokości 4600 MWh dziennie. Może to zapewnić elektrownia o mocy elektrycznej ponad 190 MW pracująca w trybie ciągłym. Na dziś to nieco ponad połowa mocy Elektrowni Żerań lub co najmniej 95 instalacji dużych farm wiatrowych o mocy 2 MW, pracujących przez całą dobę. Ponieważ taka intensywna praca elektrowni wiatrowych zwykle nie ma miejsca – w 2015 r. było to średnio 27% wykorzystania całej mocy zainstalowanej (Wysokie Napięcie, 2016). Dla zasilenia warszawskiego transportu w wersji elektrycznej, bez ograniczenia mobilności, należałoby wybudować 351 wiatraków (dodatkowe koszty). Do tego dochodzą nakłady inwestycyjne związane tylko ze zmianą pojazdów spalinowych na elektryczne oraz budowa sieci pozwalającej ładować te pojazdy w różnych miejscach w mieście.

Redukcja ruchu drogowego o 25% oznacza możliwość wytworzenia 570 MWh energii elektrycznej mniej dziennie i zaniechanie budowy elektrowni wiatrowej z co najmniej 11 wiatrakami (ok. 44, jeśli bierzemy pod uwagę, że nie produkują one energii stale). Owe 25% ograniczenia ruchu samochodów osobowych może być zrealizowane w takim mieście, jak Warszawa w sposób bardziej efektywny kosztowo niż budowa nowych elektrowni. Takim ograniczającym ruch samochodów osobowych

² Ubocznym wynikiem takiego obliczenia jest efektywność przewozowa środków komunikacji publicznej liczona w ilości zużytych kWh/pasażera. W Warszawie kształtuje się ona w następujący sposób: 0,2 kWh/pas. – autobusy, 0,5 kWh/pas. – tramwaje, 0,57 kWh/pas. – metro, 2,58 kWh/pas. – kolej miejska.

rozwiązaniem może być bowiem zwiększenie opłat za parkowanie w śródmieściu lub wprowadzenie opłat za wjazd do śródmieścia, tak jak w Sztokholmie czy Londynie (van Amelsfort, 2015, s. 6). Opłaty te powinny wystarczyć na pokrycie kosztów dodatkowych wozów komunikacji zbiorowej, zaspokajających potrzeby mobilności, a całość rozwiązania powinna się zwrócić finansowo w rok, najpóźniej w ciągu dwóch lat.

Redukcja ruchu drogowego o 50% oznacza możliwość wytworzenia o 1126 MWh energii elektrycznej mniej dziennie, czyli zaniechanie budowy elektrowni wiatrowej z co najmniej 24 wiatrakami. To ograniczenie ruchu o 50% z obecnego poziomu udało się zrealizować w Warszawie w kwietniu 2020 r. wyłącznie metodami administracyjnymi (ZDM, 2020). Sprawily to ograniczenia w przemieszczaniu się mieszkańców wynikające z epidemii koronawirusa. Okazało się, że większość warszawiaków dzięki pracy zdalnej nie musiała dojeżdżać do pracy, korzystała z telekonferencji zamiast zamiejscowych spotkań biznesowych i osobistych, robiła zakupy blisko domu lub przez Internet itp.

Redukcja ruchu drogowego o 75% w Warszawie oznacza możliwość wytworzenia o ok. 1700 MWh energii elektrycznej mniej dziennie, czyli zaniechanie budowy elektrowni wiatrowej z co najmniej 36 wiatrakami. Taka pozytywna zmiana efektywności energetycznej w transporcie też jest możliwa, jeśli większość użytkowników samochodów osobowych skorzysta z komunikacji zbiorowej. Hipotetycznie taka możliwość istnieje nawet bez dodatkowego taboru komunikacji publicznej. Wystarczy, by w każdym jeżdżącym obecnie samochodzie osobowym zamiast 1 osoby jeździło zawsze 5 (pełne obłożenie). W obliczu utrudnień związanych z epidemią koronawirusa do zwiększenia liczby pasażerów w samochodach osobowych zachęcał m.in. Paryż (Fulterer et al., 2020).

Wyniki obliczeń i założenia dotyczące opisanych scenariuszy zestawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Parametry scenariuszy analizowanych w pracy

Scenariusz	Emisyjność energii elektrycznej	Ograniczenie ruchu drogowego	Kompensacja ograniczenia ruchu drogowego	Redukcja emisji względem 2015 r.
A. Pełna elektromobilność 2015	0,798 kg CO ₂ /kWh	Brak	Brak	- 16%
A1. Pełna elektromobilność 500	0,500 kg CO ₂ /kWh	Brak	Brak	- 46%
B. Elektromobilność KPEiK	0,500 kg CO ₂ /kWh	- 95% - osobowe - 40% - ciężarowe - 50% - komunikacja zbiorowa	30 razy większy ruch skuterów oraz 70 razy większy ruch rowerów, kompensacja niepełna	- 80%
C. Elektromobilność - 25%	0,275 kg CO ₂ /kWh	- 75% - osobowe	Przeniesienie podróży na komunikację zbiorową, kompensacja pełna	- 80%
D. Elektromobilność - 50%	0,237 kg CO ₂ /kWh	- 50% - osobowe		- 80%
E. Elektromobilność - 75%	0,210 kg CO ₂ /kWh	- 25% - osobowe		- 80%

Źródło: opracowanie własne.

Podsumowanie

Odpowiadając na zadane we wstępie pytanie: czy i jak dalece elektromobilność samochodów może ograniczyć emisje gazów cieplarnianych w tak dużym mieście jak Warszawa, przeanalizowano kilka różnych wariantów postępowania i przedstawiono je w postaci scenariuszy (Tab. 3). Uwzględniono w nich przede wszystkim zamianę pojazdów z silnikami spalinowymi na elektryczne, różny poziom emisyjności energii elektrycznej w Polsce, a także różne poziomy zmian w ruchu drogowym w mieście. Dla każdego scenariusza poziomem odniesienia był zarówno stan obecny emisji gazów cieplarnianych, jak i pożądany stan przyszły na 2050 r. (na poziomie 80% redukcji emisji dwutlenku węgla z transportu w stosunku do 2015 r.). Do analizy scenariuszy wykorzystano model emisyjny opracowany w Fundacji Instytut na rzecz Ekorozwoju, który umożliwia śledzenie zmian emisji dwutlenku węgla w transporcie ze względu na ww. czynniki.

W efekcie przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że przy aktualnym w 2015 r. poziomie emisyjności energii elektrycznej w Polsce ograniczenie emisji gazów cieplarnianych z transportu w Warszawie, przy wymianie wszystkich pojazdów na elektryczne, będzie na poziomie ok. 16% w stosunku do emisji z 2015 r.. Aby osiągnąć 80% poziom redukcji emisji, współczynnik emisyjności produkcji energii elektrycznej musiałby wynosić 0,187 kg CO₂/kWh, czyli ponad czterokrotnie mniej niż w 2015 r. Ograniczenie emisji o 80% można osiągnąć przy wyższych współczynnikach emisyjności produkcji energii elektrycznej i przy założeniu ograniczenia ruchu drogowego samochodów osobowych.

Przy współczynniku emisyjności 0,500 kg CO₂/kWh, ograniczenie emisji do 80% wymagałoby nawet 95% ograniczenia ruchu samochodów osobowych i dalszego ograniczenia ruchu samochodów ciężarowych i pojazdów komunikacji miejskiej. Nawet przy radykalnym wzroście wykorzystania w transporcie skuterów i rowerów nie udałoby się zapewnić obsłużenia wszystkich potrzeb mobilności występujących w 2015 r. Przy współczynniku emisyjności 0,210 kg CO₂/kWh ograniczenie emisji o 80% możliwe jest przy ograniczeniu o 25% ruchu samochodów osobowych. Przy współczynniku emisyjności 0,237 kg CO₂/kWh ograniczenie emisji o 80% możliwe jest przy ograniczeniu o 50% ruchu samochodów osobowych. Przy współczynniku emisyjności 0,275 kg CO₂/kWh ograniczenie emisji o 80% możliwe jest przy ograniczeniu o 75% ruchu samochodów osobowych. W każdym z tych trzech przypadków występuje możliwość, iż ograniczenie tego ruchu odbędzie się bez zmiany mobilności ludności, o ile podróże będą wykonywane transportem innym niż samochód, np. komunikacją miejską lub rowerami.

W 2050 r. należy ograniczyć emisje w całym sektorze transportu do poziomu 80–90%, aby osiągnąć neutralność klimatyczną. Niestety, jak wskazują obserwacje na przeanalizowanym przykładzie Warszawy, zmiana typu napędów pojazdów jako jedynego rozwiązania nie zapewni takiego poziomu redukcji. Konieczna jest produkcja wolnej od emisji gazów cieplarnianych energii elektrycznej w polskim systemie elektroenergetycznym, a jeśli takiej energii nie będzie, to pozostaje znaczne obniżenie wykorzystania pojazdów niż dotychczas.

Bibliografia

- van Amelsfort, D., Swedish, V. (2015). *Introduction to congestion charging – guide for practitioners in developing countries*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, Asian Development Bank.
- AUTOCENTRUM. (2015). *Prawdziwy stan taboru samochodowego w Polsce*. Pozyskano z: <https://www.autocentrum.pl/publikacje/auto-w-firmie/prawdziwy-stan-taboru-samochodowego-w-polsce/>
- Bakun, B. (2015). Zagadnienie jednostkowego zużycia energii pojazdu elektrycznego na przykładzie samochodu osobowego po konwersji napędu. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2.
- Bukowski, M. (red.). (2013). *2050.pl – podróż do niskoemisyjnej przyszłości*. Warszawa: WISE-Europa, Fundacja Instytut na rzecz Ekorozwoju.
- Camilleri, P. (2018). *What future for electric commercial vehicles?*, Paryż: University of Paris-Est.
- Chłopek, Z. (2012). Badanie zużycia energii przez samochód elektryczny. *Archiwum Motoryzacji*, 57(3).
- COPERT IV. (2018). Pozyskano z: <https://www.emisia.com/utilities/copert/documentation/>
- Drzewiecki W. (2019). *Statystyki rynku samochodów osobowych i dostawczych* [prezentacja]. Konferencja NIK „Aglomeracje miejskie – wpływ transportu drogowego na jakość powietrza”, SAMAR, Warszawa.
- Earl, T., Mathieu, L., Cronelis, S., Kenny, S., Calvo Ambel, C., Nix, J. (2018). *Analysis of long haul battery electric trucks in EU*. Bruksela: Transport&Environment.
- Emission Reduction strategies for the transport sector in Poland. A report under the framework of the EUKI Project*. (2018). Bruksela: Transport&Environment.
- Fulterer, R., Wysling, A., Belz, N., Langer, M.-A., Babst, A. (2020, 27 maja). Corona zwingt Staedte wie Paris, Mailan oder San Francisco zum umdenken. *Neue Zürcher Zeitung*.
- Fundacja InE. (2012–2015). *Seria raportów oceny śladu węglowego dla 5 powiatów: miasta Jaworzno, kwidzińskiego, miasta Płock, poddębickiego i starogardzkiego dla lat 2005, 2010 i 2013*. Warszawa: Fundacja Instytut na rzecz Ekorozwoju.
- Fundacja InE. (2015). *Metodyka oceny poziomu emisji gazów cieplarnianych w wybranych powiatach dla lat 2005, 2010, 2013 w podziale na sektory*. Warszawa: Fundacja Instytut na rzecz Ekorozwoju.
- GUS. (2004–2020). *Bank Danych Lokalnych*. Warszawa. Pozyskano z: www.stat.gov.pl
- GUS. (2004–2020a). *Rocznik Statystyczny Warszawy*, Warszawa.
- IGKM. (2015). Interaktywna komunikacja w Warszawie. W: *Komunikacja miejska – oddechem dla miasta*. Warszawa: Izba Gospodarcza Komunikacji Miejskiej.
- Jandula, M. (2016). MZA Warszawa w liczbach. Jak sprawdzają się alternatywne napędy. *Transport Publiczny*. Pozyskano z: <https://www.transport-publiczny.pl/mobile/mza-warszawa-w-liczbach-jak-sprawdzaja-sie-alternatywne-napedy-51815.html>

- KOBiZE. (2017). *Wskaźniki emisyjności CO₂, SO₂, NO_x, CO i pyłu całkowitego dla energii elektrycznej na podstawie informacji zawartych w krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2015 rok*. Warszawa: IOŚ-BIP.
- KOBiZE. (2018). *National Inventory Report 2016*. Warszawa: IOŚ-BIP.
- KOBiZE. (2018a). *Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO₂ (WE) w roku 2015 do raportowania w ramach Wspólnotowego Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2018*. Warszawa: IOŚ-BIP.
- KOBiZE. (2019). *Wskaźniki emisyjności CO₂, SO₂, NO_x, CO i pyłu całkowitego dla energii elektrycznej na podstawie informacji zawartych w krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2018 rok*. Warszawa: IOŚ-BIP.
- KOBiZE. (2019a). *CO₂ emissions reduction potential in transport sector in Poland and the EU until 2050*. Warszawa: IOŚ-PIB.
- Kośut, B., Gadziński, J. (2019). *Czy wiemy, co jeździ po polskich drogach? Ułomności statystyki motoryzacji w Polsce* [prezentacja]. IV Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Problemy i wyzwania geografii komunikacji”, Łódź.
- Kostecka, A. (red.). (2015). *Warszawskie Badanie Ruchu 2015 wraz z opracowaniem modelu ruchu. Raport z etapu III*. Sopot, Kraków, Warszawa: PBS, Via Vistula, Politechnika Krakowska.
- Liimatainen, H., van Vliet O., Aplyn D. (2019). The potential of electric trucks – An international commodity-level analysis. *Applied Energy*, 236, 804–814.
- Linhart, D. (2016). *Where in Europe is electric car a good idea?*. Pozyskano z: <https://jakubmarian.com/where-in-europe-is-electric-car-a-good-idea/>
- Maciejczyk, A. (2017). Samochody z napędem elektrycznym. Mity a rzeczywistość. *Autobusy*, 12.
- Ministerstwo Aktywów Państwowych. (2019). *Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021–2020. Założenia i cele oraz polityki i działania* (wersja przekazana do Komisji Europejskiej). Warszawa.
- Ministerstwo Energii. (2016). *Plan Rozwoju Elektromobilności w Polsce. Energia do przyszłości*. Warszawa.
- Moro, A., Lonza, L. (2018). Electricity carbon intensity in European Member States: Impacts on GHG emissions of electric vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 64, 5–14. Pozyskano z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920916307933>
- Opoczyński, K. (red.). (2016). *Średni dobowy ruch roczny (SDRR) w punktach pomiarowych w 2015 roku na drogach krajowych*. Warszawa: Transprojekt-Warszawa Sp. z o.o.
- Popczyk, J. (2016). *Czy chcemy mieć polski samochód elektryczny na węgiel?* Pozyskano z: <https://ziemianarozdrozu.pl/artukul/3441/czy-chcemy-miec-polski-samochod-elektryczny-na-wegiel>
- Prohaska, R. (red.). (2016). *Field evaluation of Medium-Duty Plug-in Electric Delivery Trucks*. Waszyngton: NREL, U.S. Department of Energy.
- RaveN. (2012). *Porównania zasięgów i osiągnięć pojazdów elektrycznych*. Pozyskano z: http://samochodelektryczne.org/porownania_zasiegow_i_osiagow_pojazdow_elektrycznych.htm

- SAMAR. (2020). *Park pojazdów 2019 – czym jeżdżą Polacy?*, Warszawa. Pozyskano z: https://www.samar.pl/___/3/3.a/107241/3.sc/11/Park-samochod%C3%B3w-2019---czym-je%C5%BCd%C5%BC%C4%85-Polacy-.html?locale=pl_PL
- Sims, R., Schaeffer, R., Creutzig, F., Cruz-Núñez, X., D'Agosto, M., Dimitriu, D., Figueroa Meza, M. J., Fulton, L., Kobayashi, S., Lah, O., McKinnon, A., Newman, P., Ouyang, M., Schauer, J. J., Sperling, D., Tiwari, G. (2014). *Transport*. W: O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel, J. C. Minx (red.), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, New York: Cambridge University Press. Pozyskano z: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter8.pdf
- Urząd Miasta Stołecznego Warszawy. (2016). *Ekologiczne samochody? W Warszawie jest ich coraz więcej*. Pozyskano z: <http://www.um.warszawa.pl/aktualnosci/ekologiczne-samochody-w-warszawie-jest-ich-coraz-wiecej>
- Urząd Miasta Stołecznego Warszawy. (2020). *Szacunki emisji gazów cieplarnianych za lata 2010, 2012, 2014, 2016, 2018* [przekazane pisemnie autorowi artykułu].
- Wysokie Napięcie. (2016) *10 faktów i mitów o farmach wiatrowych w Polsce*. Pozyskano z: <https://wysokienapiecie.pl/1479-energetyka-wiatrowa-w-polsce-fakty-mity-2016/>
- Wysokie Napięcie. (2019). *Zamiast na wodór, Niemcy planują tiry na prąd z sieci*. Pozyskano z: <https://wysokienapiecie.pl/25319-zamiast-na-wodor-niemcy-planuja-tiry-na-prad-z-sieci/>
- Zarząd Dróg Miejskich w Warszawie. (2012–2020). *Analiza ruchu na drogach*. Pozyskano z: <https://zdm.waw.pl/dzialania/badania-i-analizy/analiza-ruchu-na-drogach/>
- Zarząd Dróg Miejskich w Warszawie. (2015–2020). *Informator statystyczny*. Pozyskano z: <https://www.ztm.waw.pl/statystyki/>
- Zarząd Dróg Miejskich w Warszawie. (2020). *Mały ruch na drogach*. Pozyskano z: <https://zdm.waw.pl/aktualnosci/maly-ruch-na-drogach/>

Streszczenie

Streszczenie: Celem artykułu jest pokazanie wielkości i struktury emisji dwutlenku węgla z transportu w Warszawie oraz możliwości jej ograniczenia. Do obliczenia emisji zastosowano model emisyjny wykorzystujący dane o zużyciu energii przez pojazdy (COPERT IV), flocie pojazdów, wskaźniki emisyjne gazów cieplarnianych dla paliw i energii elektrycznej oraz o ruchu drogowym. Na podstawie obliczeń emisji dwutlenku węgla dla 2015 r. dla Warszawy skonstruowano scenariusze ograniczenia emisji biorące pod uwagę elektryfikację pojazdów, zmianę wskaźnika emisyjności energii elektrycznej oraz poziomu wykorzystania samochodów i transportu publicznego. Emisję w każdym ze scenariuszy oceniono względem poziomu oczekiwanego dla neutralności klimatycznej w 2050 r. W konkluzji stwierdza się, że elektryfikacja wszystkich środków transportu w Warszawie nie musi automatycznie oznaczać osiągnięcia neutralności klimatycznej dla sektora transportu. Jeśli energia elektryczna wykorzystywana do ładowania pojazdów będzie miała wskaźnik emisyjny wyższy niż 0,187 kg CO₂/kWh, konieczne będzie mniejsze niż do tej pory wykorzystanie samochodów.

Słowa kluczowe: elektromobilność, Warszawa, emisje dwutlenku węgla, transport miejski.

PERSPECTIVE ON GREENHOUSE GASES EMISSION REDUCTION FROM TRANSPORT IN METROPOLITAN CITY – CASE OF WARSAW

SUMMARY

Article aims at analysis of the level and structure of carbon dioxide emissions in Warsaw, as well as means to abate them. A model for estimation of emissions uses the data on energy use from vehicles (COPERT IV), composition of vehicle fleet, emission factors for fuels and electricity as well as data on road traffic. Based on the estimation made for Warsaw in 2015 authors proposed scenarios for abatement of emissions taking into account electrification of vehicles, change in emission factor of Polish electricity and modal shift. Emission for each scenario was assessed against the level expected for climate neutrality in 2050. The conclusion of the article says that electrification of the whole vehicle fleet may not lead to climate neutrality of transport sector in a city like Warsaw. If the electricity used for cars will have an emission factor higher than 0,187 kg CO₂/kWh, there certainly a reduction in use of vehicles is needed.

Keywords: e-mobility, Warsaw, Carbon dioxide emissions, city transport.

JEL: Q54



Małgorzata Kacprzak

Prof. dr hab. inż. Małgorzata Jadwiga Kacprzak, doktor nauk leśnych Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu; od 2000 r. związana jest z Politechniką Częstochowską. Dziekan Wydziału Infrastruktury i Środowiska w latach 2016–2020. Prowadzi działalność badawczą i dydaktyczną w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych – inżynierii środowiska i biotechnologii. Kierownik wielu projektów realizowanych we współpracy międzynarodowej (Polsko-Norweska Współpraca Badawcza NCBiR, Akademickie Partnerstwa Międzynarodowe NAWA) oraz krajowej, także z podmiotami gospodarczymi (TANGO NCBiR). Członek Panelu Ekspertów NCN. Stypendystka Szwedzkiego Instytutu, Fundacji Nauki Polskiej oraz OECD.

<https://orcid.org/0000-0002-3897-8659>

Usuwanie CO₂ z atmosfery – zalety, wady i wyzwania

Wstęp

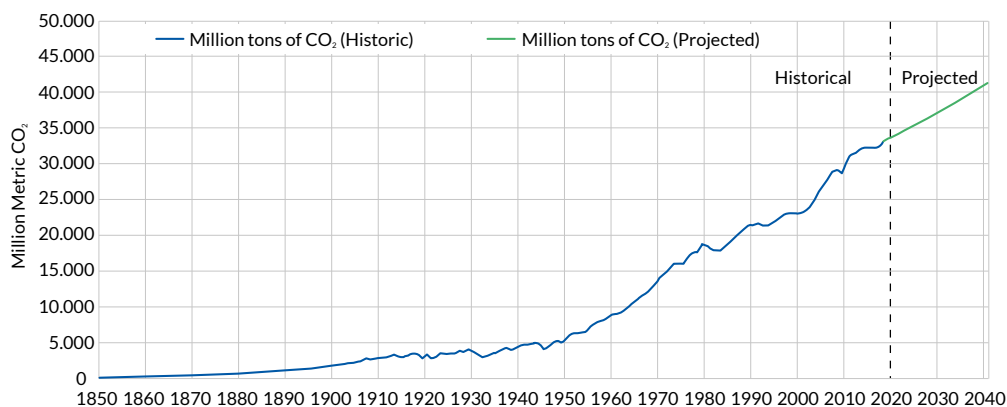
Najprostszym i najbardziej wiarygodnym wskaźnikiem struktury powietrza jest udział procentowy poszczególnych składników w troposferze do wysokości 13 km ponad powierzchnią Ziemi. Udział ten można łatwo przeliczyć na liczbę cząstek dwutlenku węgla przypadającą na milion cząsteczek powietrza. Zgodnie z danymi monitoringu z laboratorium NOAA (Hawaje), w połowie XX w. liczba cząstek CO₂ w atmosferze utrzymywała się na poziomie 315 na milion. Mimo że rośliny lądowe i ocean pochłaniają globalnie CO₂ w ilości odpowiadającej około połowie z 40 miliardów Mg zanieczyszczenia CO₂ emitowanego przez ludzi każdego roku, to tempo wzrostu CO₂ w atmosferze stale rośnie. W latach 60. XX w. wynosiło ono średnio około 0,8 ppm rocznie, w latach 80. podwoiło się do 1,6 ppm rocznie, a w latach 90. utrzymywało się na stałym poziomie 1,5 ppm. W 2000 r. tempo wzrostu CO₂ przekroczyło wartość 2,0 ppm i w ciągu ostatniej dekady osiągnęło średnio rocznie wartość 2,4 ppm. Miesięczne wartości CO₂, np. w Mauna Loa, przekroczyły w 2014 r. po raz pierwszy próg 400 ppm, a 1 czerwca 2020 r. – 418,32 ppm. Są to poziomy, które nie występowały w atmosferze od kilku milionów lat. Naukowcy z NOAA uważają, że tempo wzrostu poziomu CO₂ w 2020 r. nie odzwierciedla zmniejszenia emisji zanieczyszczeń z powodu gwałtownego światowego spowolnienia gospodarczego w odpowiedzi na pandemię koronawirusa. Spadek emisji musiałby być wystarczająco duży, aby wyróżniał się na tle naturalnej zmienności CO₂, spowodowanej reakcją roślin i gleb na sezonowe i roczne zmiany temperatury, wilgotności powietrza czy gleby itp. Te naturalne zmiany są duże, a jak dotychczas redukcje emisji związane z COVID-19 nie wyróżniają się w ciągu wartości rejestrowanych na osi czasu. Ocenia się, że gdyby redukcje emisji o 20 do 30% były utrzymywane przez 6 do 12 miesięcy, wówczas tempo wzrostu CO₂ mierzone w Mauna Loa uległoby spowolnieniu.

Nie ma jednego magicznego rozwiązania, które zmieni globalne wzorce produkcji i zużycia wtórnych nośników energii. Ekologizacja energii to nie tylko rozwój i upowszechnienie stosowania alternatywnych wtórnych nośników energii lub zakończenie ery wykorzystywania paliw pochodzenia organicznego. Ropa naftowa, gaz ziemny, węgiel kamienny i brunatny nadal będą istotnym elementem zaspokajania globalnego zapotrzebowania na energię w perspektywie kilku dekad. Skoro nie uda się całkowicie wyeliminować emisji, to bez technologii wychwytywania dwutlenku węgla osiągnięcie międzynarodowych celów klimatycznych jest praktycznie niemożliwe. Aby lepiej przybliżyć wychwytywanie, składowanie i wykorzystanie dwutlenku węgla, w niniejszym rozdziale postarano się przeanalizować najbardziej zaawansowane technologie pod względem nie

tylko hipotetycznej efektywności, lecz także pod względem możliwości ich praktycznego zastosowania (przede wszystkim ze względu na stopień określenia gotowości technologicznej danego rozwiązania) i możliwego wpływu na środowisko.

1. Emisja i koncentracja dwutlenku węgla

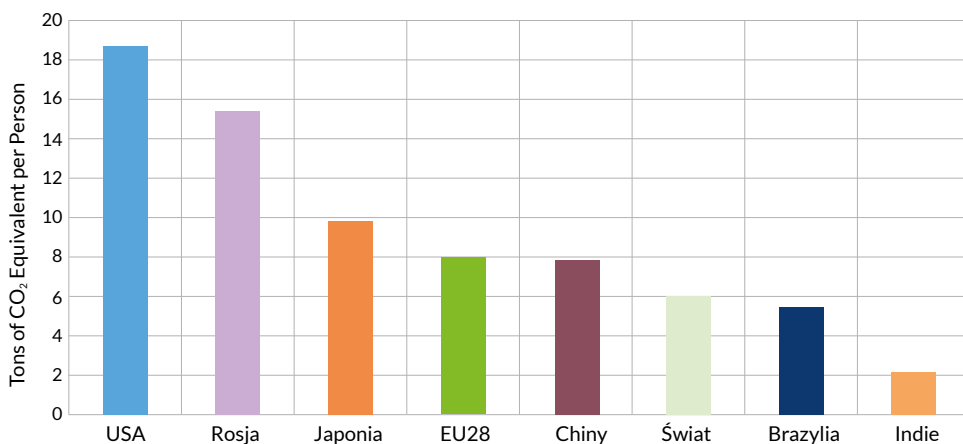
Emisje dwutlenku węgla, głównie ze spalania paliw kopalnych, wzrosły dramatycznie od początku rewolucji przemysłowej (Rys. 1).



Rys. 1. Globalna emisja dwutlenku węgla w latach 1850–2050.

Źródło: Carbon Dioxide Information Analysis Center. (2017). Pozyskano z: <https://www.c2es.org/content/international-emissions/>

Większość światowych emisji gazów cieplarnianych (w tym dwutlenku węgla) powstaje w stosunkowo niewielkiej liczbie krajów. Chiny, Stany Zjednoczone i kraje Unii Europejskiej są trzema największymi emitentami. Najwyższe emisje gazów cieplarnianych w przeliczeniu na mieszkańca są w Stanach Zjednoczonych i Rosji (Rys. 2).



Rys. 2. Emisja gazów cieplarnianych *per capita*

Źródło: Carbon Dioxide Information Analysis Center. (2017). Pozyskano z: <https://www.c2es.org/content/international-emissions/>

Ostatni raport BP *Statistical Review of World Energy* (2019) wskazuje obniżenie emisji dwutlenku węgla w ostatnim dziesięcioleciu przez wiele dużych krajów, np. kraje należące do UE, USA, Rosję czy Japonię. Jednak równoczesny znaczny wzrost emisji CO₂ w Chinach, Indiach czy Brazylii kształtuje negatywny bilans redukcji emisji przez wiele lat.

Tab. 1. Różnica w emisji dwutlenku węgla w latach 2008–2018 w wybranych państwach

CO ₂ w mln Mg	2008	2018	Różnica w %
Kanada	545,6	550,3	0,86
Meksyk	431,6	462,5	7,10
USA	5675,7	5145,2	-9,40
Brazylia	374,0	441,8	18,12
Polska	319,2	322,5	1,03
Niemcy	806,5	725,7	-10,01
Wielka Brytania	562,8	394,1	-29,98
Europa*	4939,0	4248,4	-13,98
Rosja	1554,3	1550,8	-0,22
Chiny	7378,5	9428,7	27,79
Indie	1466,9	2479,1	69,00
Japonia	1274,9	1148,4	-9,92

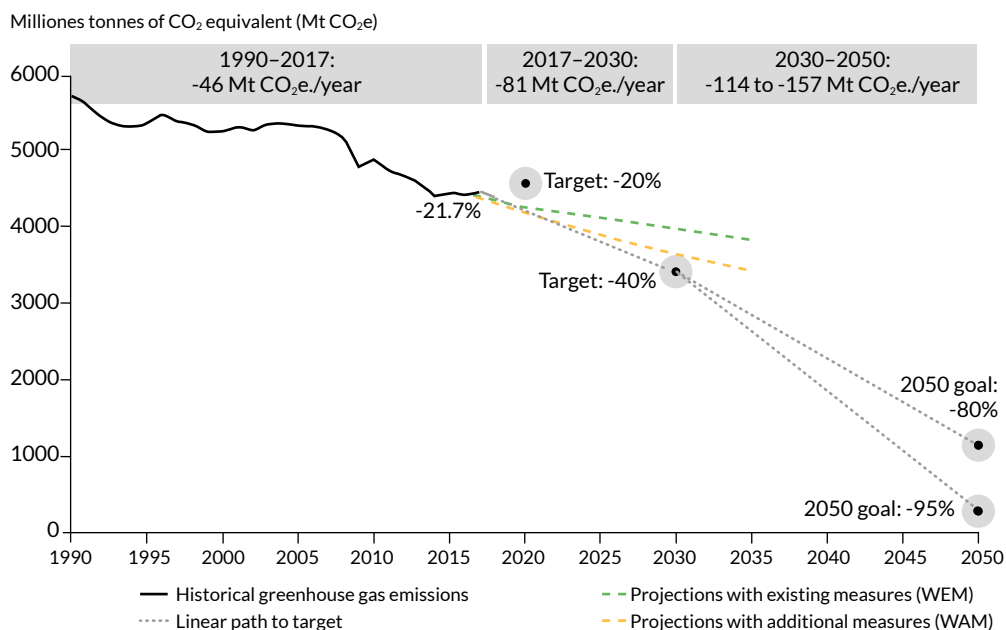
* łącznie dla krajów Austria, Belgia, Czechy, Finlandia, Francja, Niemcy, Grecja, Węgry, Włochy, Holandia, Norwegia, Polska, Rumunia, Hiszpania, Szwecja, Szwajcaria, Turcja, Ukraina, Wielka Brytania, pozostałe.

Źródło: BP. (2019). *BP Statistical Review of World Energy*.

W Pakiecie klimatyczno-energetycznym UE 2020 wprowadzono wymóg osiągnięcia 20% całkowitej redukcji emisji gazów cieplarnianych (GHG¹) w porównaniu do poziomów z 1990 r., co odpowiada 14% redukcji w porównaniu z 2005 r. Aby zagwarantować, że UE osiągnie swój długoterminowy cel w sposób opłacalny, przywódcy UE w październiku 2014 r. uzgodnili dla UE ramy polityki klimatyczno-energetycznej do 2030 r. i poparli cel redukcji co najmniej o 40% emisji GHG w porównaniu z poziomami z 1990 r. W listopadzie 2018 r. Komisja Europejska przyjęła strategiczną długoterminową wizję gospodarki neutralnej dla klimatu do 2050 r., zgodnie z celem porozumienia paryskiego, aby utrzymać wzrost temperatury znacznie poniżej 2°C. W 2017 r. emisje gazów cieplarnianych w UE były o 21,7% niższe niż w 1990 r., czyli 4 483 megaton (Mt) ekwiwalentu dwutlenku węgla (CO₂). Według wstępnych

¹ Gaz cieplarniany, gaz szklarniowy (GHG, z ang. *greenhouse gas*).

szacunków między 2017 a 2018 r. wielkość emisji obniżyła się o 2%, czyli 23,2% poniżej poziomów z 1990 r. W ten sposób UE ma szansę osiągnąć swój cel redukcji o 20% emisji gazów cieplarnianych do 2020 r. (Rys. 3).



Rys. 3. Prognozy i cele dotyczące zmian emisji gazów cieplarnianych w UE zgodnie z Europejską Agencją Środowiska (EEA)

Źródło: European Environment Agency. (2019). *Greenhouse gas emission trend projections and target*. Pozyskano z: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/greenhouse-gas-emission-trends-6/assessment-3>

2. Metody usuwania dwutlenku węgla

Uwzględniając, że w metrze sześciennym powietrza jest około 0,076 grama CO₂, to dla uzyskania 1 Mg CO₂ należałoby odfiltrować około 13 mln m³ powietrza. Są to wartości teoretyczne, przyjęte w modelu przewidującym stosowanie technologii o 100% skuteczności, a takich obecnie nie ma. Od przynajmniej dwudziestu lat proponuje się ograniczenie emisji CO₂ do atmosfery. Istnieją trzy istotne metody redukcji emisji CO₂: zastosowanie energooszczędnych technologii o zmniejszonym zużyciu paliw pochodzenia organicznego, wykorzystanie energii odnawialnej oraz technologie wychwytywania i składowania/wykorzystania dwutlenku węgla (*CO₂ capture and storage, CCS²; CO₂ capture and utilization, CCU³*). Chociaż pierwsze dwa rozwiązania zyskały w ciągu ostatnich kilku lat popularność, nadal istnieje zapotrzebowanie na technologię CCS. Potencjał do magazynowania CO₂ w skorupie ziemskiej i oceanach jest duży (Tab. 2).

² CCS z ang. *CO₂ capture and storage*, technologie wychwytywania i składowania dwutlenku węgla.

³ CCU, z ang. *CO₂ capture and utilization*, technologie wychwytywania i wykorzystania dwutlenku węgla.

Tab. 2. Potencjał magazynowania oraz unieszkodliwiania CO₂ wg Kohlmana

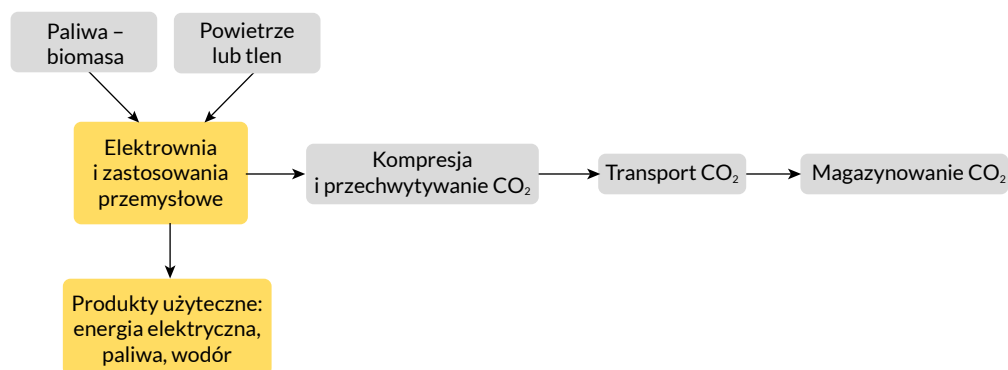
Miejsce składowania	Pojemność węgla [Gt]
oceany, morza	>1000 ⁴
kawerny solne	100-1000
wyeksplloatowane zbiorniki gazu	>140
wyeksplloatowane zbiorniki ropy	>40
wyeksplloatowane pokłady węgla	10-100
zatlaczanie z jednoczesnym odzyskiem ropy	65
zalesianie	50-100

Źródło: Lubańska, Z., Grudniewski, T., Chodyka, M., Nitychoruk, J. (2016). Rodzaje Metod Sekwestracji CO₂. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury. Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture*, XXXIII(63, 3/16).

Wychwytywanie CO₂ jest najbardziej efektywne tam, gdzie jego wytwarzanie jest największe, a więc głównie w dużych elektrowniach (zasilanych paliwami pochodzenia organicznego lub biomasą), rafineriach gazu ziemnego i paliw syntetycznych czy zakładach produkujących wodór.

W procesach usuwania węgla wydziela się dwie kategorie:

- podejście naturalne, które wykorzystuje procesy biologiczne do wspomaganie procesów usuwania i magazynowania węgla;
- podejście technologiczne, w trakcie którego węgiel usuwany jest bezpośrednio z powietrza lub też manipuluje się naturalnymi procesami jego usuwania w celu przyspieszenia magazynowania (Rys. 4).



Rys. 4. Etapy technologicznego podejścia do usuwania dwutlenku węgla

Źródło: Wilberforce, T., Baroutaji, A., Soudan, B. Al-Alami, A. H, Olabi, A. G. (2019). Outlook of carbon capture technology and challenges. *Science of the Total Environment*, 657.

Technologicznie wyróżnia się szereg metod wychwytu dwutlenku węgla (Bhown et al., 2019):

- wtórny (ang. *post combustion*) – CO₂ jest wychwytywany ze spalin, po procesie spalania. Ten sposób jest najbardziej popularny i często stosowany w przemyśle, zwłaszcza w elektrowniach zasilanych paliwami pochodzenia organicznego;
- pierwotny (ang. *pre-combustion*) – wychwyt następuje przed spalaniem. Paliwo jest poddawane procesowi gazyfikacji, w wyniku której powstaje gaz syntezowy (mieszanka CO i H₂), ulegający dalszym przemianom do CO₂ i H₂O;
- spalanie w tlenie (ang. *oxycombustion*) – spalanie czystego paliwa w czystym tlenie. Spaliny to wyłącznie dwutlenek węgla i łatwa do wykroplenia woda;
- spalanie w pętli chemicznej (ang. *chemical looping combustion*) – obejmuje utlenianie metalu w powietrzu w jednym reaktorze, transportowanie go do innego reaktora i redukcję za pomocą paliwa węglowodorowego w celu uwolnienia CO₂ i wody. Zredukowany metal jest następnie wysyłany z powrotem do pierwszego reaktora. Oba reaktory działają jako reaktory ze złożem fluidalnym, a egzotermiczny reaktor powietrzny zapewnia ciepło o wysokiej temperaturze, które można przekształcić w pracę;
- bezpośrednie wychwytywanie strumieni o wysokiej czystości (ang. *direct capture of high-purity streams*) – CO₂ jest wytwarzany w procesie chemicznym lub przemysłowym o czystości 95% lub wyższej. Proces przed sekwestracją wymaga tylko kompresji i transportu;
- bezpośrednie wychwytywanie powietrza (ang. *direct air capture*): wiąże się z oddzielaniem CO₂ bezpośrednio z atmosfery. Bardzo niskie stężenia CO₂ w powietrzu (400 ppm) powodują, że proces jest bardzo energochłonny.

Ogólnym celem wszystkich technologii wychwytywania i składowania dwutlenku węgla jest takie jego przekształcenie, aby można go było zmagazynować np. w formacjach geologicznych. Dwutlenek węgla musi zostać sprężony do stanu ciekłego, aby można go było łatwo transportować rurociągami i ostatecznie składować, co można uznać za istotny etap w całym procesie wychwytywania i składowania (CCS). CCU różni się od CCS tym, że CCU nie ma na celu ani nie powoduje trwałego geologicznego składowania dwutlenku węgla. Zamiast tego CCU wykorzystuje wychwycony CO₂ do konwersji na inne substancje lub produkty o wyższej wartości ekonomicznej (np. tworzywa sztuczne, beton, biopaliwo) przy jednoczesnym zachowaniu neutralności węglowej procesów produkcyjnych. Metody te różnią się od siebie stopniem zaawansowania i gotowości technologicznej (Tab. 3).

Metody usuwania CO₂ wymagają odpowiednich rezerwuarów, bezpośrednio dla CO₂ lub innych form węgla wytworzonych po procesach technologicznych (np. biomasy, minerałów czy innych produktów). Możliwe są różnorodne zbiorniki: albo quasi-trwałe, magazynujące CO₂ z atmosfery w długich okresach czasu (np. > 10 000 lat), albo tymczasowe, w których pewna ilość usuniętego CO₂ może wrócić do atmosfery w ciągu dziesięcioleci lub stuleci. Taka osiągalność, dla prawie wszystkich

rezerwuarów, jest szacowana jakościowo jako stosunkowo wysoka w przypadku małych ilości (<1 Gt CO₂), ale jest wyzwaniem dla większych (>1000 Gt CO₂). Im większe ilości magazynowanego dwutlenku węgla, tym większa konieczność wykonania dodatkowych badań, np. nad implikacjami ekologicznymi i ekonomicznymi, oraz rozwoju odpowiedniej infrastruktury do tak szerokiego wdrożenia.

Tab. 3. Stopień zaawansowania metod CCS

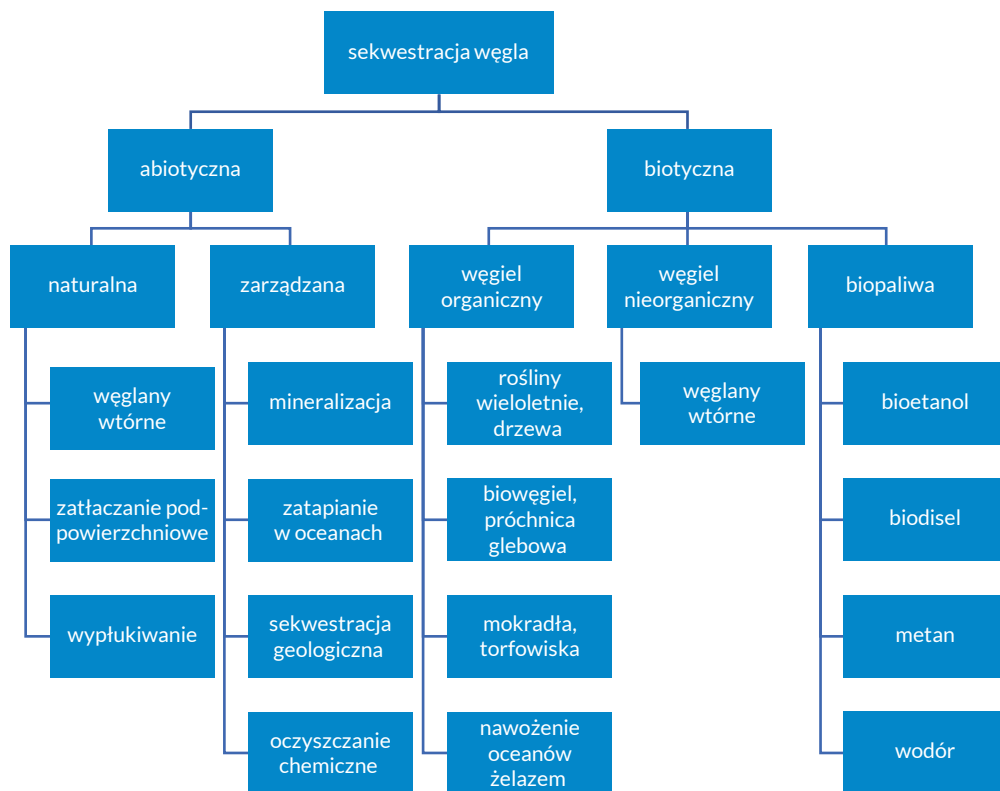
Etap	Technologia	W fazie badawczej	W fazie demonstracyjnej	Ekonomicznie opłacalna pod określonymi warunkami	Dostępna na rynku
Wychwył	Wychwył wtórny			X	
	Wychwył pierwotny			X	
	Spalanie w tlenie		X		
	Wychwył przemysłowy (produkcja amoniaku lub gazu syntezowego)				X
Transport	Rurociągi				X
	Transport morski			X	
Składowanie geologiczne	Zaawansowane metody wspomagania wydobycia ropy naftowej (<i>Enhanced Oil Recovery</i> , EOR)				X*
	Pola gazowe lub naftowe			X	
	Wytrącanie soli			X	
	<i>Enhanced Coal Bed Methane recovery</i> (ECBM)		X		
Składowanie w oceanie	Bezpośrednie	X			
Mineralna karbonatyzacja	Naturalne minerały krzemianowe	X			
	Materiały odpadowe		X		

* Załaczanie CO₂ dla EOR jest technologią rynkową, ale gdy jest ona wykorzystywana do składowania CO₂, jest „ekonomicznie wykonalna tylko w określonych warunkach”.

Źródło: Metz, B., Davidson, O., de Coninck, H., Loos, M., Meyer, L. (2005). *Carbon Dioxide Capture and Storage*. Cambridge: Cambridge University Press.

3. Metody składowania dwutlenku węgla

Sekwestracja węgla to proces wykorzystywany do wychwytywania i długoterminowego magazynowania atmosferycznego dwutlenku węgla lub innych form węgla w celu złagodzenia lub opóźnienia globalnego ocieplenia. Proces *CO₂ capture and storage* (CCS) przebiega w trzech etapach: wychwytywanie, transport i przechowywanie. Ze względu na sposób przechowywania dwutlenku węgla oraz formy chemiczne, w jakich występuje węgiel, metody sekwestracji prowadzące do polepszenia bilansu dwutlenku węgla dzieli się na dwie grupy: biotyczne i abiotyczne (Rys. 5).



Rys. 5. Zestawienie metod sekwestracji węgla ze względu na sposób przechowywania dwutlenku węgla i formy chemiczne występowania węgla

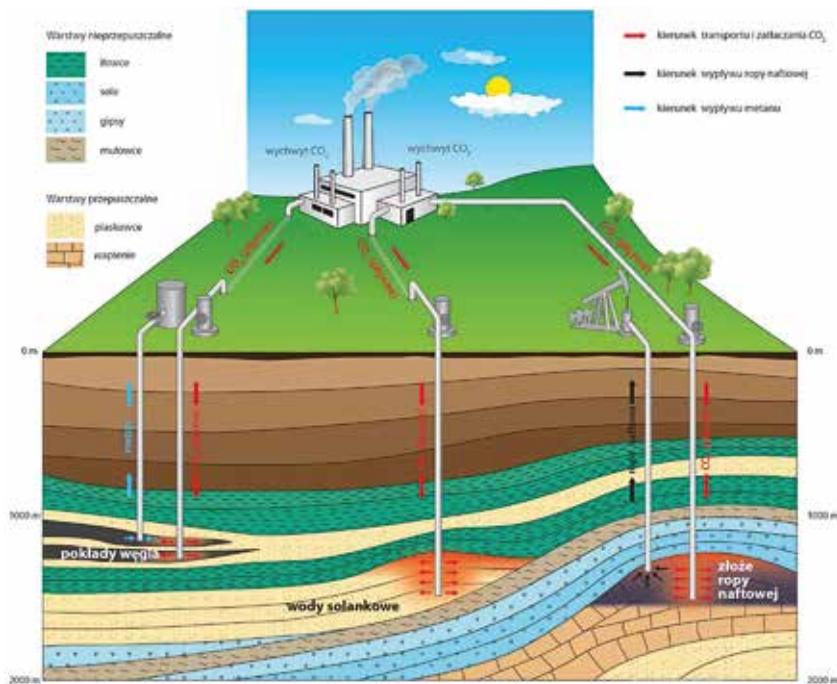
Źródło: opracowanie własne.

Metody sekwestracji dzieli się na bezpośrednie, pośrednie oraz zaawansowane.

Sekwestracja bezpośrednia polega na wychwytywaniu dwutlenku węgla jeszcze przed jego emisją do atmosfery, składowanie go w bezpiecznych dla środowiska warunkach, w głębokich formacjach geologicznych. Geologiczne miejsca składowania powinny mieć odpowiednią pojemność, zdolność do wpompowania gazu, zadowalającą warstwę uszczelniającą lub ograniczającą uwalnianie gazu oraz wystarczająco stabilne środowisko geologiczne, aby uniknąć naruszenia integralności miejsca składowania.

W celu długoterminowej sekwestracji CO₂ można wykorzystać następujące struktury geologiczne (Rys. 6):

- wyeksploatowane złoża ropy naftowej i gazu ziemnego,
- nieeksploatowane pokłady węgla kamiennego,
- głębokie solankowe warstwy wodonośne.



Rys. 6. Możliwości geologicznego składowania dwutlenku węgla

Źródło: Państwowy Instytut Geologiczny. (2009). *Geologiczna sekwestracja CO₂*. Pozyskano z: <http://skladowanie.pgi.gov.pl>

W Polsce najbardziej perspektywiczne dla geologicznego składowania dwutlenku węgla są głębokie formacje wodonośne, z wodami o dużym zasoleniu (Dubieński et al., 2010). Wstępny szacunkowy potencjał sekwestracji dwutlenku węgla w strukturach geologicznych Polski przedstawiono w tabeli 4 oraz na rysunku 7.

Tab. 4. Wstępny szacunkowy potencjał sekwestracji CO₂ w strukturach geologicznych Polski

Typ struktur	Liczba struktur	Potencjał składowania CO ₂ [Mt]
Głębokie poziomy wodonośne/solankowe		
– w ramach projektu CASTOR	12	3752
– w ramach EU GeoCapacity	6	~ 2000
– z innych opracowań		1760
<i>Szacunkowa całkowita pojemność poziomów wodonośnych/solankowych mezozoiku</i>	–	90 000

Sczerpane złoża węglowodorów	31	764
Pokłady węgla		
– nieeksploatowane metanowe pokłady węgla GZW (Górnosląskie Zagłębie Węglowe)	1	415
– dla LZW (Lubelskie Zagłębie Węglowe)		14
Szacunkowa całkowita pojemność pokładów węgla GZW		1 254
Wstępny szacunkowy całkowity potencjał sekwestracji		~ 92 Gt
Suma struktur i formacji udokumentowanych		~ 9 Gt

Źródło: Dubiński, J., Wachowicz, J., Koteras, A. (2010). Podziemne składowanie dwutlenku węgla – możliwości wykorzystania technologii ccs w polskich uwarunkowaniach. *Górnictwo i geologia*, 5(1).



Rys. 7. Możliwość geologicznego składowania CO₂ w Polsce

Źródło: Państwowy Instytut Geologiczny. (2009). *Geologiczna sekwestracja CO₂*. Pozyskano z: <http://skladowanie.pgi.gov.pl>

Sekwestracja dwutlenku węgla może powodować potencjalne ryzyko i oddziaływanie na otaczające środowisko. Kwestie środowiskowe związane z sekwestracją geologiczną są bardzo istotne, ponieważ takie instalacje mogą znaczne oddziaływać na:

- zasoby wodne

Wyciek dwutlenku węgla może powodować zakwaszenie wód powierzchniowych, a także podziemnych. Główne ścieżki i mechanizmy migracji dwutlenku węgla do wód podziemnych obejmują migrację w skale macierzystej, procesy kapilarne i dyfuzyjne oraz poprzez uskoki i sieci pęknięć w wyniku procesów starzenia skał. Inne źródło zanieczyszczenia wody wiąże się z wodą odpływową ze studni, która nie może zostać natychmiast odprowadzona lub wykorzystana ze względu na duże zasolenie i potencjalnie niebezpieczne związki sodu, baru, żelaza i wodorowęglany.

- powietrze, ziemię i klimat

Uwalnianie dwutlenku węgla do gleby w wyniku rozlania i przypadkowego wycieku może obniżyć pH gleby i zwiększyć potencjalną mobilizację metali ciężkich. Można również uznać, że emisja gazu z zakładów wychwytyjących ma wpływ na jakość powietrza, która zależy od zastosowanej technologii. Wyciek atmosferyczny dwutlenku węgla jest kolejnym aspektem, który może wystąpić po zakończeniu procesu wtryskiwania i w dłuższej perspektywie z powodu niewłaściwego uszczelnienia studni i zatkania. Z kolei w perspektywie długoterminowej ważną rolę w zapobieganiu potencjalnemu wyciekaniu dwutlenku węgla odgrywa integralność uszczelnienia.

- indukowaną sejsmiczność

Indukowana sejsmiczność dotyczy różnych działań podpowierzchniowych, w tym związanych z osiadaniem kopalni, zubożeniem złóż ropy i gazu, wtórnym odzyskaniu ropy, wydobywaniem, programami głębokiego wiercenia, odprowadzaniem ścieków, systemami geotermalnymi i retencją zbiorników.

Składowanie CO₂ w oceanie odbywa się na głębokości 3 km. Takie podejście zapewnia trwałe geologiczne składowanie, aczkolwiek bardziej kontrowersyjne niż inne geologiczne metody składowania. Przeciwnicy tej metody zwracają uwagę na znaczny wpływ na środowisko, szczególnie zmiany chemizmu wód. Sekwestracja dużych ilości CO₂ bezpośrednio do oceanu obniża wartość pH wody. W rezultacie nasila się proces zakwaszania, co powoduje katastrofalne konsekwencje dla ekosystemu morskiego. Właściwości CO₂ uwięzionego pod ziemią nie zostały wcześniej zdefiniowane, ale niektóre badania wskazują, że dzięki zatłaczaniu geologicznemu CO₂ może pozostać uwięziony w różnych podziemnych strukturach przez dłuższy czas. Całkowita potencjalna pojemność składowania w formacjach geologicznych jest jednak trudna do określenia, chociaż pojemność zatłaczanego CO₂ w pobliżu dna oceanu jest duża i może wynosić ponad bilion Mg (Goldberg et al. 2018).

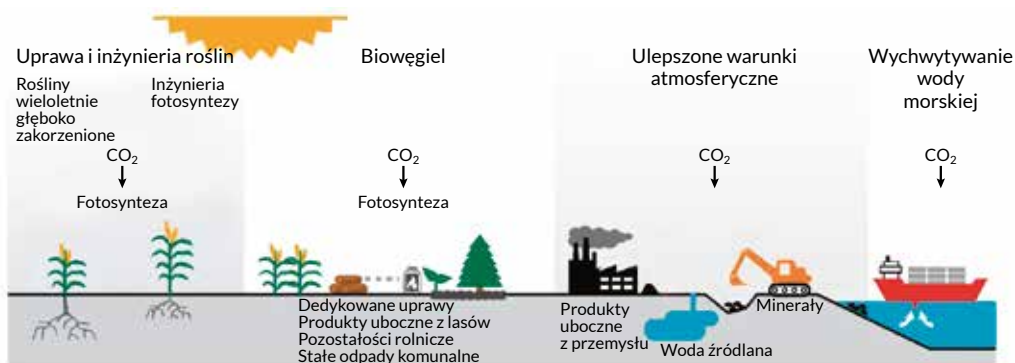
Sekwestracja pośrednia polega na wychwytywaniu dwutlenku węgla z atmosfery.

Sekwestracja biologiczna dotyczy coraz częściej nie tylko technologii samego magazynowania dwutlenku węgla w biomasie żywych organizmów czy glebie, lecz także dalszego przekształcania surowców biomasy w produkty wyjściowe, takie jak

energia, ciepło lub biopaliwa (ang. *bioenergy with carbon capture and Storage* BECCS⁴) (Rys. 8). CO₂ wychwycony z biomasy może być magazynowany pod ziemią lub w produktach wytwarzanych z wyprodukowanej biomasy. Technologie BECCS zapewniają dodatni bilans w usuwaniu dwutlenku węgla, o ile powodują wzrost „dodatkowej” biomasy, która w innym przypadku nie urosłaby, i/lub powodują, że węgiel zawarty w biomacie zostaje trwale magazynowany, a nie uwolniony z powrotem do atmosfery. BECCS można również wykorzystać jako środek redukcji emisji poprzez zastąpienie źródeł energii intensywnie emitujących GHG.

Drzewa i inna roślinność absorbują CO₂ podczas fotosyntezy. Sekwestracja biologiczna za pomocą fotosyntezy w glebie lub biomacie ma teoretyczną zdolność magazynowania dwutlenku węgla (około 100 Gt węgla rocznie w skali globu), co czyni z niej opłacalną opcję. Jednak proces ten jest dość powolny, wymaga stuleci lub dłużej, aby ponownie osiągnąć przedrolnicze poziomy węgla w glebie. Pewną rolę odgrywają tutaj tereny zdegradowane rolniczo lub wyłączone z użytkowania rolniczego. Przywrócenie na takich terenach sukcesji roślin trawiastych prowadzi do przyspieszenia rocznego wskaźnika składowania dwutlenku węgla, który w okresie 20 lat może osiągnąć wartość o 200% większą (Yang et al. 2019).

Zdegradowane rolniczo lub/i opuszczone tereny mogą usuwać CO₂ z atmosfery i sekwestrować go jako materię organiczną w glebie podczas sukcesji naturalnej.



Rys. 8. Biosekwestracja z uwzględnieniem technologii zagospodarowania biomasy

Źródło: Mulligan, J., Ellison, G., Gasper, R., Rudee, A. (2018). *Carbon Removal in Forests and Farms in the United States. Working Paper*. Washington: World Resources Institute. Pozyskano z: <https://www.wri.org/publication/land-carbon-removal-usa>

Duże znaczenie w biosekwestracji węgla ma także **intensywna produkcja na plantacjach szybkorosnących drzew** i innych roślin energetycznych czy trwałych użytków zielonych. Szacuje się, że ilość węgla związanego w tego rodzaju roślinach wynosi:

- wierzba – 0,8–1,0 Mg C/ha,
- topola – 1,6 Mg C/ha,
- proso różgowe – 3–10 Mg C/ha,
- miskant olbrzymi – 5–8 Mg C/ha,
- łąka – 7 ton siana/ha – 3,5 Mg C/ha.

⁴ Produkcja bioenergii z wychwytywaniem i magazynowaniem dwutlenku węgla.

Lasy są niewątpliwie jednym z najskuteczniejszych i najłatwiejszych sposobów zapewnienia funkcji „pochłaniaczy” węgla. Jednak niezbędne jest wykonanie analizy czasu trwałości tego węgla w lasach, ponieważ zależy on bezpośrednio od zastosowanego modelu gospodarki leśnej. W najbardziej zaawansowanym modelu lasy (lub rośliny energetyczne) mogą nie tylko generować przyrost całkowitej ilości węgla wychwyconego i zatrzymanego na danym obszarze, ale wytworzona z niego biomasa stosowana jako paliwo zastępuje równoważną ilość paliwa pochodzenia kopalnego, tworząc efektywny wskaźnik pochłaniania węgla. Inną formą są np. subplantacje *Quercus* stosowane do wytwarzania surowców dla przemysłu korkowego. To typ lasu o wyjątkowo długich okresach rotacji, w których cykl wymiany drzew jest bardzo długi, prawie 200 lat (Nunes et al., 2020). Kolejną opcją jest wytwarzanie biowęgla z biomasy. Biowęgiel to „pirolizowana” biomasa: materiał roślinny, który został spalony w wysokich temperaturach przy niskim poziomie tlenu. Biorąc pod uwagę, że zawartość pierwiastka węgla w biowęglu może wynosić 61–82%, **biowęgiel** jest także uważany za dobrą alternatywę do sekwestracji CO₂. W USA oszacowano, że optymalną roczną dawką biowęgla do gleby, w celu podwyższenia jej produktywności, jest ok. 76 Mg/ha, co zapewnia sekwestrację ok. 224 Mg CO₂/ha (Bis, 2012). Roczny potencjał sekwestracji CO₂ dla Polski, w postaci biowęgla bezpośrednio zdeponowanego w ziemi, wynosi 3,6 mld Mg CO₂.

Inną opcją biologiczną jest sekwestracja biologiczna w morzu, w której CO₂ jest sekwestrowany w roślinach morskich. Makroglony oceaniczne *Saccharina* i *Gracilaria* mogą kumulować odpowiednio 1,0–106 i 2,3–105 Mg s.m./rok (Moreira i Pires, 2016). Biosekwestracja ma zdolność magazynowania CO₂ w postaci stabilnych stałych węglanów, np. węglanu wapnia (CaCO₃). Jednak głównym wyzwaniem przy takim stosowaniu glonów jest wielkość fotobioreaktora wymaganego do hodowli glonów. Alternatywną techniką jest zastosowanie bakterii wydzielających enzym CA, który jest enzymem hydrolizy wydzielanym zarówno przez organizmy fotosyntetyczne, jak i inne niż fotosyntetyczne. CA został wyekstrahowany z różnych gatunków bakterii, takich jak *Enterobacter* sp., *Citrobacter freundii*, *B. subtilis*, *Stenotrophomonas*, *Acidiphilia*, *Staphylococcus* spp. i *Proteus vulgaris* (Alshalif et al., 2020).

Pomimo znaczącej pozycji w modelach klimatycznych, BECCS napotyka jednak znaczne ograniczenia związane z dostępnością surowców biomasy, które mogłyby zapewnić korzyści klimatyczne bez wypierania produkcji żywności lub naturalnych ekosystemów. Sekwestracja biologiczna prowadzona w naturalnych systemach stwarza ryzyko zastąpienia ich monokulturami, które charakteryzują się wyższą intensywnością procesu CCS, ale dużo niższą bioróżnorodnością. Prowadzi to do zaburzeń w ekosystemach i ich stopniowej jakościowej degradacji. Sekwestracja biologiczna w morzu ma również inne wady, takie jak niewystarczająca pojemność CCS i możliwość zakłócenia morskiego łańcucha pokarmowego.

Mineralna (karbonatyzacja⁵) sekwestracja CO₂ (wiązanie CO₂ w węglany nieorganiczne), należąca do zaawansowanych metod, jest kolejnym zespołem technologii,

⁵ karbonatyzacja mineralna, zwana też sekwestracją mineralną, polega na wiązaniu CO₂ za pomocą tlenków metali obecnych w naturalnych minerałach (takich jak serpentynit, oliwin) lub pewnych odpadach przemysłowych (popioły lotne, żużle metalurgiczne), z utworzeniem stałych węglanów (Ca, Mg, Fe).

które zasadniczo mogą być wykorzystywane przez te same kategorie instalacji przemysłowych, które mogą stosować geologiczne składowanie CO₂. Jest opłacalną metodą sekwestracji węgla, która oferuje magazynowanie o dużej pojemności (> 10 000 Gt CO₂), co oznacza, że światowa podaż minerałów może prawdopodobnie zrównoważyć wszystkie przyszłe emisje (Saran et al., 2017). Zainteresowanie sekwestracją mineralną jest najbardziej widoczne w regionach, w których podziemna sekwestracja jest niemożliwa. Istnieją dwie znaczące zalety sekwestracji mineralnej, w porównaniu z innymi opcjami (np. geologicznymi): bezpieczeństwo i trwałość sekwestracji CO₂ w termodynamicznie stabilnym produkcie karbonatyzacji i sama obfitość żywego surowca. Monitorowanie po sekwestracji nie jest konieczne.

Najbardziej obiecujące minerały wykorzystywane w reakcjach karbonatyzacji to minerały bogate w wapń i magnez, np. oliwin i wollastonit. Wysokie stężenia związków magnezu i wapnia w wielu przemysłowych produktach ubocznych i odpadach czyni je dobrymi kandydatami do sekwestracji – np. żuźle żelaza i stali, różne rodzaje popiołów z procesów technologicznych oraz odpady na bazie cementu. Choć całkowita ilość odpadów i produktów ubocznych jest mniejsza niż w przypadku surowców pochodzenia naturalnego, są one łatwe do pozyskania, ich ilość się zwiększa i często są bardziej efektywne niż materiały naturalne. W literaturze zbadano różne drogi procesu, przy czym większość z tych dróg można podzielić na dwie kategorie: bezpośrednia karbonatyzacja lub pośrednia karbonatyzacja. Przy bezpośredniej karbonatyzacji stosuje się jednoetapowy proces, w którym zarówno rozpuszczanie minerałów, jak i reakcja karbonatyzacji zachodzą w jednym reaktorze. Problem z tym podejściem polega na tym, że szybkości reakcji w warunkach atmosferycznych uważane są za nieopłacalne dla przemysłu; dlatego badania skupiły się na ich przyspieszeniu. Pośrednie nasycanie dwutlenkiem węgla wykorzystuje kilka dodatków chemicznych, takich jak HCl, H₂SO₄ i HNO₃, w celu przyspieszenia procesu nasycania dwutlenkiem węgla. Pośrednia droga nasycania dwutlenkiem węgla następuje w dwóch etapach. W pierwszym etapie ekstrakcja reaktywnych minerałów zachodzi przy niskim pH, a następnie karbonatyzacja przy wyższym pH w oddzielnym reaktorze. Proces ten można również znacznie usprawnić, zmniejszając rozmiar minerału. Termiczna lub mechaniczna aktywacja i optymalizacja procesu chemicznego znacznie zwiększają szybkość reakcji. Produkty powstające w wyniku procesu mają zastosowanie w budownictwie i rekultywacji kopalń. Obecnie uważa się, że karbonatyzacja minerałów jest odległą opcją, choć jej zalety uzasadniają dalsze badania. Zagadnienia, którymi należy się zająć przed przemysłowym wdrożeniem sekwestracji minerałów, to ilość energii zużywanej w tej metodzie, szybkość reakcji i wpływ tej metody na środowisko.

4. Gotowość technologiczna (*technology readiness level, TRL*) różnych technologii sekwestracji CO₂

Każda z prezentowanych technologii ma obecnie określony potencjał technologiczny, także pod względem konkurencyjności kosztowej i opłacalności. Analizując sekwestrację biotyczną i abiotyczną, zwraca się uwagę, że sekwestracja abiotyczna jest

dużo bardziej efektywna, ale ze względu na konieczne nakłady technologiczne może być droższa i obciążona większym ryzykiem środowiskowym (Tab. 5).

Tab. 5. Analiza porównawcza efektywności sekwestracji biotycznej i abiotycznej CO₂

Parametr	Sekwestracja biotyczna	Sekwestracja abiotyczna
rodzaj procesu	naturalny (fotosynteza)	technologiczny (wiązanie, sekwestracja, zatłaczanie)
efektywność jednostkowa	od 50 do 100 µg	>1000 µg
horyzont czasowy wprowadzenia	25–50 lat	10–20 lat
koszty	relatywnie niskie	wysokie
ryzyko środowiskowe	niskie	wysokie
konieczność monitorowania	niewielka	znacząca

Źródło: Eloka-Eboka, A. C., Bwapwa, J. K., Maroa, S. (2019). *Biomass for CO₂ Sequestration*. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*. doi:10.1016/B978-0-12-803581-8.11029-X

W 2019 r. grupa badaczy przygotowała publikację dotyczącą gotowości technologicznej i realności wprowadzenia poszczególnych metod sekwestracji (Hepburn et al., 2019). Uważają oni, że obecnie **metody chemiczne, wytwarzanie betonowych materiałów budowlanych, zalesianie, sekwestracja węgla w glebie oraz wytwarzanie biowęgla**, mają największe szanse na komercyjne wprowadzenie na rynek do 2050 r. Poszczególne technologie różnią się od siebie ze względu na próg rentowności na Mg CO₂, a jest to jeden ze sposobów oceny ekonomiki wykorzystania. Ważna jest również efektywność wykorzystania CO₂ i tzw. wartość dodana przy kalkulacji kosztów w przypadku procesów CCU w sytuacjach, gdy cena uzyskanego produktu przekracza ceny rynkowe produktów paliwowych wytwarzanych przy użyciu CO₂. Katalityczne reakcje, w celu wytworzenia produktów takich jak metanol, mocznik (do wykorzystania jako nawóz) lub polimerów (do stosowania jako trwałe komponenty w budynkach lub samochodach), mogłyby wykorzystywać od 0,3 do 0,6 Gt CO₂ rocznie. Wytwarzanie paliw węglowodorowych, w tym metanolu i gazu syntezowego, mogłyby mieć duży udział w rynku wytwarzania energii, np. w ramach istniejącej infrastruktury transportowej, ale obecne koszty są wysokie. Paliwa CO₂ mogłyby łącznie zużywać od 1 do 4,2 Gt CO₂ rocznie, ale koszty to nawet 670 USD za Mg. Z kolei wykorzystywanie mikroalg do wiązania CO₂ przy wysokiej wydajności, a następnie przetwarzanie biomasy w celu wytworzenia produktów, takich jak paliwa i substancje chemiczne o wysokiej wartości, było od wielu lat przedmiotem badań. Ze względu na złożoną technologię koszty wynoszą od 230 do 920 USD za Mg CO₂, a wskaźniki wykorzystania mogą wynosić od 0,2 do 0,9 Gt CO₂ rocznie. CO₂ można wykorzystać także do „utwardzenia” cementu lub do produkcji kruszyw. Technologia w dłuższej perspektywie może zastąpić produkcję

cementu konwencjonalnego. Z kolei wstrzykiwanie CO₂ do odwiertów naftowych zwiększa produkcję ropy. Eksperci szacują, że od 0,1 do 1,8 Gt CO₂ rocznie można by wykorzystać i przechowywać w ten sposób przy kosztach między 60 a 40 USD za Mg CO₂. W biotechnologiach z wychwytywaniem CO₂ wytwarzana jest bioenergia. Biorąc pod uwagę przybliżone przychody z energii elektrycznej, koszty użytkowania bioenergii wynoszą 60–160 USD za Mg CO₂. Przy czym około 0,5 do 5 Gt CO₂ rocznie można by wykorzystać i przechowywać w ten sposób. Drewno, zarówno z nowych, jak i istniejących lasów, jest cennym ekonomicznie produktem, który może potencjalnie magazynować CO₂ np. w budynkach, a tym samym wyeliminować zużycie cementu. Techniki zagospodarowania gruntów w celu sekwestracji węgla w glebie mogą nie tylko magazynować CO₂ w glebie, lecz także zwiększać plony w rolnictwie. Ilość dwutlenku węgla wykorzystana w tej zwiększonej produkcji może wynosić od 0,9 do 1,9 Gt CO₂ rocznie. Zastosowanie biowęgla w glebach rolniczych może zwiększyć plony o 10%, ale bardzo trudno jest uzyskać spójny produkt lub przewidzieć reakcje glebowe. Biowęgiel może zostać wykorzystany w ilości od 0,2 do 1 Gt CO₂. W tabeli 6 przedstawiono prognozy rentowności i szacunkowe wielkości CO₂ zużywanego lub usuwanego rocznie w 2050 r.

Tab. 6. Szacunkowe dane dotyczące zakresu wykorzystania CO₂ i obecnych kosztów prognozy

Ścieżka	Potencjał usuwania w 2050 r. (Mt CO ₂ usuwanego rocznie)	Potencjał wykorzystania w 2050 r. (Mt CO ₂ zużytego na rok)	Próg rentowności wykorzystania CO ₂ * (w 2015 w USD za tonę wykorzystanego CO ₂)
Konwencjonalne wykorzystanie			
Chemikalia	10–30	300–600	–80 do 320 USD
Paliwa	0	1000–4200	0 do 670 USD
Mikroglony	0	200–900	230 do 920 USD
Betonowe materiały budowlane	100–1400	100–1400	–30 do 70 USD
Wspomaganie wydobycia ropy	100–800	100–1800	–60 do –45 USD
Niekonwencjonalne wykorzystanie			
Biologiczny CCS	500–5000	500–5000	60 do 160 USD
Pochłanianie w oceanach	2 000–4000	n.d.	mniej niż 200 USD
Magazynowanie w lasach	500–3600	70–1100	–40 do 10USD
Użytkowanie gruntów	2300–5300	900–1900	–90 do –20USD
Biowęgiel	300–2000	170–1000	–70 do –60USD

n.d., nieokreślone

*Kosztem progowym jest koszt w 2015 r. wyrażony w USD za tonę emisji CO₂. Próg rentowności wynoszący zero oznacza punkt, w którym ścieżka jest ekonomicznie opłacalna bez wprowadzenia rządowych regulacji cen CO₂ (np. dotacja na wykorzystanie CO₂). Koszty progowe przedstawione w przedziale reprezentują albo (dla konwencjonalnych ścieżek z wyjątkiem EOR) szacunkowe 25 i 75 percentyla, obliczone na podstawie przeglądu literatury naukowej z tego zakresu (wielkość różnicy odzwierciedla różnorodność dostępnych założeń technologicznych i ekonomicznych), albo szacunkowe odgórne szacunki przychodów, które mogą zostać naliczone (gdy wysoka jest niepewność co do dokładności szacunków). Koszty rentowności oznaczone gwiazdką są obliczane jako nieskorygowane o przychody i kredyty produktów ubocznych. Aby uzyskać wysokie i niskie wartości globalnego potencjału wykorzystania brutto dla konwencjonalnych ścieżek, uśredniono interpolowane wyniki. W przypadku niekonwencjonalnych ścieżek wykorzystania, szacowane zakresy potencjału wykorzystania opierają się na szacunkach dodatkowego plonu węgla w roślinności (w przypadku sekwestracji węgla w glebie i biowęgla dodatkowa wydajność jest zbliżona do produktywności pierwotnej netto, a w przypadku zalesiania/ponownego zalesiania jest zbliżona do produktów z drewna).

Źródło: Hepburn, C., Adlen, E., Beddington, J., Carter, E. A., Fuss, S., Mac Dowell, N., Minx, J. C., Smith, P., Williams, C. K. (2019). The technological and economic prospects for CO₂ utilization and removal. *Nature*, 575.

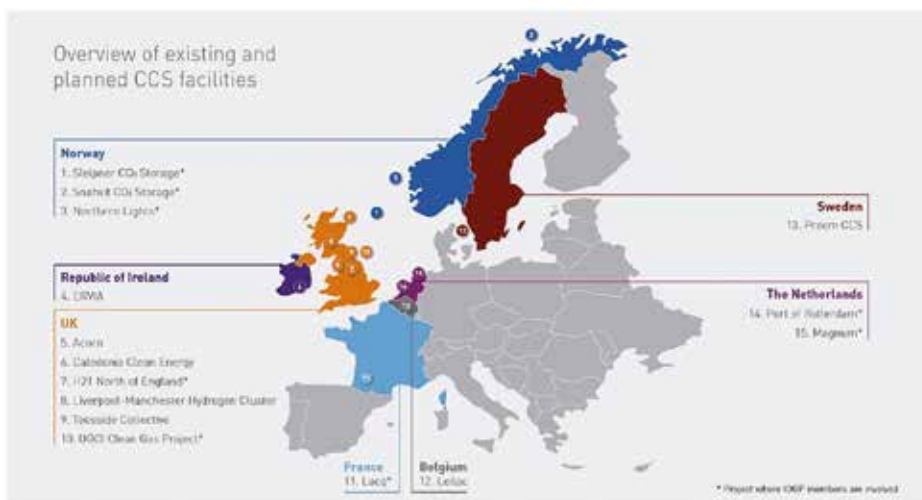
Leśne Gospodarstwa Węglowe (LGW) to projekt pilotażowo-wdrożeniowy Państwowego Gospodarstwa Leśnego Lasy Państwowe, zakładający takie prowadzenie działań w gospodarce leśnej, których efektem będzie zwiększone pochłanianie CO₂ w ekosystemach leśnych. Wprowadzane są dodatkowe gatunki szybkorosnące, takie jak daglezwia, która w ciągu 100 lat może zmagazynować o 350 Mg C/ha więcej w porównaniu do świerka. Szacowano, że w czasie 30 lat realizacji projektu 12 tys. ha lasów pochłonie dodatkowo 1 mln Mg CO₂. Dzięki zaangażowaniu leśników pilotażowe drzewostany wprowadzono w 23 nadleśnictwach. Zakładana kompensacja będzie odpowiadać ok. 0,01% polskiej emisji CO₂, a w dłuższym horyzoncie czasowym, przy wdrożeniu programu LGW we wszystkich polskich lasach, ma on potencjał pochłaniania CO₂ na poziomie kilku milionów ton CO₂ rocznie, co odpowiada niewiele ponad 1% obecnych rocznych emisji z innych sektorów (321 mln ton CO₂/rok). Jest to bardzo mało, ale trudno nie oceniać skuteczności aspektów sekwestracji CO₂ w ramach projektu LGW dla LOT i LOTOS (wrzesień 2019). Projekt jednak ma przede wszystkim charakter poznawczy i dostrzec się w nim powinno z jednej strony zapewnienie celów różnorodności biologicznej, a z drugiej – możliwość ciągłego monitorowania zmian, jakimi poddane zostały duże powierzchnie drzewostanów. Jest to wiedza bezcenna.

5. Praktyczny potencjał sekwestracji CO₂

Według The Global CCS, 18 światowych dużych instalacji CCS wychwytuje obecnie około 40 mln Mg CO₂ rocznie (Mtpa). Obecnie, dzięki realizacji komercyjnych projektów **sekwestracji geologicznej węgla** (Mosleh et al., 2019), magazynowanych jest ponad 5 Mg CO₂ rocznie. Zakładając, że światowa emisja CO₂ ze źródeł antropogenicznych wynosi około 33890,8 mln ton/rok (BP Statistical Review of World Energy, 2019), jest to zaledwie 0,01% całkowitej globalnej emisji. Opcje sekwestracji geologicznej mają dodatkową zaletę w postaci wytwarzania użytecznych handlowo produktów ubocznych, takich jak ropa i gaz. Może to przynieść znaczącą korzyść, która w dużej mierze zrekompensuje wydatki inwestycyjne i operacyjne ponoszone przez instalacje

ponad to, co zapewnia system handlu emisjami. Przykłady światowych projektów CCS na skalę komercyjną to:

- Projekt Sleipner w Norwegii: wychwytywanie CO₂ z gazu ziemnego wytwarzanego na polu gazowym Sleipner i wtryskiwanie go do solankowego poziomu wodonośnego, znajdującego się nad złożem gazu. Operacja rozpoczęła się w 1996 r.
- Projekt Snøhvit (Królowa Śnieżka) zlokalizowany w Norwegii: CO₂ jest oddzielany od nieprzetworzonego gazu, a następnie zawracany oddzielnym rurociągiem do składowania pod dnem morskim.
- Projekt In Salah w Algierii: usuwanie CO₂ z wytwarzanego gazu, a następnie ponowne wstrzykiwanie go na dużą skalę do podziemnych warstw piaskowca 2 km pod powierzchnią.
- Projekt Rangely zlokalizowany w Ameryce Północnej: CO₂ z zakładu przetwarzania gazu ziemnego w Wyoming jest włączany do złóż ropy i magazynowany na polu Rangely w Kolorado.
- Projekt Weyburn-Midale w Ameryce Północnej: obejmuje wychwytywanie CO₂ z fabryki paliw syntetycznych w Dakocie Północnej. Wychwycony CO₂ jest sprężany i przesyłany rurociągiem do pola naftowego w Kanadzie, gdzie również podlega sekwestracji.
- Natomiast w samej Europie scenariusze osiągnięcia neutralności klimatycznej zakładają, że 80–298 Mt wychwyconego CO₂ będzie magazynowane pod ziemią, a 201–307 Mt będzie wykorzystywane w paliwach lub materiałach syntetycznych. Zwiększenie skali CCS i CCU w celu spełnienia tych scenariuszy jest poważnym wyzwaniem. W Europie od 2019 r. działają dwa duże obiekty CCS, które łącznie wychwytyują 1,55 Mtpa CO₂: Sleipner i Snøhvit (Rys. 9). Aby spełnić wymogi określone w scenariuszach neutralności klimatycznej, zdolność do wychwytywania i składowania CO₂ lub ponownego wykorzystania musi zostać zwiększona do 391 Mtpa CO₂ do 2050 r.



Rys. 9. Rozmieszczenie instalacji CCS w Europie

Źródło: IOGP. 2019. *The potential for CCS and CCU in Europe. Report to the thirty second meeting of the European Gas Regulatory Forum 5–6 June 2019.*

W Polsce pilotażowy program wychwytu CO₂ miał rozpocząć się Elektrowni Bełchatów. Możliwy scenariusz sekwestracji, wskazany wstępnie przez PIG, obejmował zatłaczanie CO₂ w poziomach wodonośnych solankowych z dolnej jury, w odległości ok. 15 km od Elektrowni Bełchatów w zbiorniku położonym na głębokości 1200 m, o pojemności 136 mln Mg CO₂ (Rys. 7). Byłaby ona wystarczająca dla zmagazynowania CO₂ pochodzącego z instalacji demonstracyjnej PGE Elektrowni Bełchatów SA, a dodatkowo z jednej lub dwóch instalacji przemysłowych spoza sektora energetycznego, położonych w sąsiedztwie Elektrowni Bełchatów, np. Cementowni Działoszyn oraz Cementowni Rudniki, o łącznej rocznej emisji CO₂ wynoszącej ok. 1,2 mln ton. Jednak realizacja planowanych projektów demonstracyjnych CCS o wymaganej przez KE skali (minimum 250 MW) zarówno w Polsce, jak i w Europie, pomimo opracowania instrumentów wsparcia finansowego nie doszła do tej pory do skutku (Mika-Bryska i Wróblewska, 2015).

Podsumowanie

Od czasów rewolucji przemysłowej ludzkość odziedziczyła około 3 200 mld Mg nadmiaru CO₂ w powietrzu. Gdyby ludzie nagle przestali emitować dwutlenek węgla, zajęłoby to tysiące lat, zanim emisje CO₂ zostałyby zaabsorbowane do głębokiego oceanu i atmosferyczny CO₂ powróciłby do poziomów sprzed epoki przemysłowej.

Naturalne podejście do usuwania węgla może odegrać znaczącą rolę w najbliższej przyszłości. Proekologiczne rozwiązania, takie jak bardziej efektywne zarządzanie lasami, mokradłami, łąkami i gruntami rolnymi, może usunąć około 5,6 Gt CO₂ rocznie. Podejście naturalne niesie również wiele dodatkowych korzyści, od poprawy jakości gleby i wody po ochronę różnorodności biologicznej. Zasoby węgla oparte na biosferze są co prawda ograniczone pod względem całkowitej pojemności, jednak prawdopodobnie przewyższają CDR_{ref}, przy czym pojemność gleb szacuje się na kilka razy większą niż w lasach. Zalesianie i wzbogacanie węgla w glebie (np. *terra preta*) są zaawansowanymi technologicznie procesami i łatwiej byłoby je wdrożyć w krótkim okresie niż np. składowanie geologiczne i geochemiczne; będą one jednak konkurować z globalnymi trendami wylesiania oraz degradacji i utraty górnych warstw gleby. Sam proces też nie jest jednak pozbawiony ryzyka. Węgiel nie może zostać trwale usunięty, ostatecznie powracając do atmosfery, np. gdy poważny pożar zniszczy lasy. Działania w zakresie sekwestracji CO₂ mogą powodować równoczesne zwiększenie emisji, np. jeśli sadzenie drzew na gruntach rolnych prowadzi do ścinania drzew w innych miejscach w celu zaspokojenia rosnącego zapotrzebowania na żywność.

Wiele podejść technologicznych również jest obiecujących, ale większość z nich nie jest gotowa do wdrożenia, a inne są kosztowne i ryzykowne. Żadne podejście lub pojedyncza technologia usuwania węgla nie powstrzyma ocieplenia poniżej 2°C w ciągu tego stulecia. Składowanie geologiczne będzie prawdopodobnie ograniczone wymogami logistycznymi (wydobycie i transport) oraz oddziaływaniami ekologicznymi, a nie dostępnością zasobów skał mineralnych. Składowanie w głębinach oceanów, głównie poprzez zatłaczanie skroplonego CO₂ do wód głębinowych i osadów dna morskiego, jest w większości uważane za tymczasowe, ponieważ cyrkulacja

oceaniczna zwróci część CO₂ do atmosfery. Dlatego najlepszą strategią osiągnięcia ujemnych emisji na wymaganą skalę jest zbudowanie całego „portfela” metod usuwania węgla. Podejmowane są np. wysiłki w celu połączenia składowania geochemicznego ze składowaniem geologicznym poprzez mineralizację *in situ* ciekłego CO₂ wtryskiwanego do otworów wiertniczych w warunkach geochemicznych sprzyjających szybkim reakcjom mineralizacji. Inne technologie, takie jak paliwa płynne lub pianki poliuretanowe, zwracałyby CO₂ do atmosfery poprzez spalanie lub rozkład w ciągu lat do dziesięcioleci, inne produkty, takie jak materiały budowlane, mogłyby sekwestrować CO₂ przez wieki. Jednak nawet przy szeroko zakrojonej polityce i działaniach wspierających rynek potencjał usuwania jest prawdopodobnie mniejszy niż 10 Gt (CO₂) do 2100 r. Należy także pamiętać, że składowanie dwutlenku węgla nawet w niewielkich ilościach w niektórych miejscach może być bardzo trudne lub nawet nieosiągalne, jeśli brakuje wsparcia społecznego i politycznego.

Bibliografia

- Alshalif, A. F., Irwan, J. M., Othman, N., Al-Gheethi, A. A., Shamsudin, S. (2020). A systematic review on bio-sequestration of carbon dioxide in bio-concrete systems: a future direction. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. doi: 10.1080/19648189.2020.1713899
- Bhown, A. S., Bromhal, G., Barki, G. (2020). CO₂ Capture and Sequestration. W: R. Malhotra (ed.) *Fossil Energy. Encyclopedia of Sustainability Science and Technology Series*. New York: Springer.
- Bis, Z. (2012). Biowęgiel – powrót do przeszłości, szansa dla przyszłości. *Czysta Energia*, 6.
- BP. (2019). *BP Statistical Review of World Energy*.
- Carbon Dioxide Information Analysis Center. (2017). Pozyskano z: <https://www.c2es.org/content/international-emissions/>
- Dubiński, J., Wachowicz, J., Koterka, A. (2010). Podziemne składowanie dwutlenku węgla – możliwości wykorzystania technologii ccs w polskich uwarunkowaniach. *Górnictwo i Geologia*, 5(1).
- Eloka-Eboka, A. C., Bwapwa, J. K., Maroa, S. (2019). *Biomass for CO₂ Sequestration. Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*. doi:10.1016/B978-0-12-803581-8.11029-X
- European Environment Agency. (2019). *Greenhouse gas emission trend projections and target*. Pozyskano z: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/greenhouse-gas-emission-trends-6/assessment-3>
- Goldberg, D. et al. (2018). Geological storage of CO₂ in sub-seafloor basalt: The Carbon SAFE pre-feasibility study offshore Washington State and British Columbia. *Energy Procedia*, 146. doi:10.1016/j.egypro.2018.07.020
- Hepburn, C., Adlen, E., Beddington, J., Carter, E. A., Fuss, S., Mac Dowell, N., Minx, J. C., Smith, P., Williams, C. K. (2019). The technological and economic prospects for CO₂ utilization and removal. *Nature*, 575.
- IOGP. (2019). *The potential for CCS and CCU in Europe. Report to the thirty second meeting of the European Gas Regulatory Forum 5–6 June 2019*.
- Lubańska, Z., Grudniewski, T., Chodyka, M., Nitychoruk, J. (2016). Rodzaje Metod Sekwestracji CO₂. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury. Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture*, XXXIII(63, 3/16).
- Metz, B., Davidson, O., de Coninck, H., Loos, M., Meyer, L. (2005). *Carbon Dioxide Capture and Storage*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mika-Bryska, M., Wróblewska, E. (2015). Polskie podejście do CCS w świetle aktualnego statusu rozwoju tej technologii. *Przegląd Geologiczny*, 63(1).
- Moreira, D., Pires, J. C. M. (2016). Atmospheric CO₂ capture by algae: Negative carbon dioxide emission path. *Bioresource Technology* 215.
- Mosleh, M. H., Sedighi, M., Babaei, M., Turner, M. (2019). Geological sequestration of carbon dioxide. W: T. Letcher (ed.), *Managing Global Warming An Interface of Technology and Human Issues* (487–500). Academic Press.

- Mulligan, J., Ellison, G., Gasper, R., Rudee, A. (2018). *Carbon Removal in Forests and Farms in the United States. Working Paper*. Washington: World Resources Institute. Pozyskano z: <https://www.wri.org/publication/land-carbon-removal-usa>
- Nunes, L. J. R., Meireles, C. I. R., Gomes, C. J. P., Almeida Ribeiro, N. M. C. (2020). Forest Contribution to Climate Change Mitigation: Management Oriented to Carbon Capture and Storage. *Climate*, 8(2), 21. doi:10.3390/cli8020021
- Państwowy Instytut Geologiczny. (2009). *Geologiczna sekwestracja CO₂*. Pozyskano z: <http://skladowanie.pgi.gov.pl>
- Saran, R. K., Kumar, R., Yadav, S. (2017). *Climate change: mitigation strategy by various CO₂ sequestration methods*. 3 International Conference on Latest Innovations in Science.
- Wilberforce, T., Baroutaji, A., Soudan, B., Al-Alami, A. H, Olabi, A. G. (2019). Outlook of carbon capture technology and challenges. *Science of the Total Environment*, 657.
- Yang, Y., Tilman, D., Furey, G. (2019). Soil carbon sequestration accelerated by restoration of grassland biodiversity. *Nature Communications*, 10(718). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08636-w>

Streszczenie

Koncepcje usuwania dwutlenku węgla z atmosfery są rozpatrywane jako jedna z metod obniżania udziału dwutlenku węgla w atmosferze. Ich istotą jest magazynowanie go w różny sposób, np. poprzez sekwestrację w glebach i roślinach (głównie drzewach), przechowywanie w podziemnych zbiornikach, skałach, oceanach czy wytwarzanie wielu produktów, m.in. biowęgla, betonu, włókna węglowego czy biopaliwa. Dotychczas opracowano szereg rozwiązań, których stopień gotowości technologicznej w Polsce i na świecie jest różny. Obok zatłaczania podpowierzchniowego, metod chemicznego przetwarzania, wytwarzania betonowych materiałów budowlanych, zalesiania terenów wyłączonych z produkcji rolniczej, rozważane są także sekwestracja węgla w glebie oraz wytwarzanie biowęgla jako metody, które mają największe szanse na komercyjne zastosowanie w gospodarce przed 2050 r.

Słowa kluczowe: sekwestracja, dwutlenek węgla, technologie.

REMOVAL OF CARBON DIOXIDE FROM ATMOSPHERE - ADVANTAGES, DISADVANTAGES AND CHALLENGES

SUMMARY

The concepts of carbon removal from the atmosphere are considered as one of the methods of reducing the level of carbon dioxide in the atmosphere. Their goal is to store it in various ways, such as sequestration in soils and plants (mainly trees), storage in underground tanks, rocks, oceans, or the production of many products such as biochar, concrete, carbon fiber and biofuels. A number of solutions have been developed and the different technology readiness level has been noted if compare Poland and the world. In addition to subsurface injection, chemical processing methods, the production of concrete building materials, the afforestation of land excluded from agricultural production, soil carbon sequestration and biochar production are also considered as the methods that have the best chance for commercial application in the economy before 2050.

Keywords: sequestration, carbon dioxide, technologies.

JEL: Q54



Marcin Mrowiec

Marcin Mrowiec doktoryzował się na Uniwersytecie Ekonomicznym w Krakowie, zaś jego (rozszerzona) praca doktorska, która ukazała się nakładem Wydawnictwa Naukowego PWN, pt. *Austriacka Szkoła Ekonomii. Jak może pomóc wyjaśnić stagnację gospodarki Japonii*, była nominowana do nagrody Economicus, jako jedna z 10 najlepszych książek ekonomicznych w danym roku. Przez 12 lat pełnił funkcję głównego ekonomisty Banku Pekao SA, wielokrotnie zwyciężając (indywidualnie oraz wraz z zespołem) w konkursach na trafność prognoz makroekonomicznych.

<https://orcid.org/0000-0002-4583-7926>

Ekonomiczne aspekty polityki klimatycznej

Wstęp

Plany przekształcenia obszaru UE w konkurencyjną zeroemisyjną gospodarkę (Komisja Europejska, 2018) były dotychczas traktowane jako wizja strategiczna. W związku z ogłoszonym w grudniu 2019 r. Europejskim Zielonym Ładem (Komisja Europejska, 2019), dokumentami przyjętymi wkrótce potem oraz planowanymi do przyjęcia w kolejnych miesiącach, plany te nabrały wyraźnego przyspieszenia implementacyjnego. Zasadniczy cel ograniczenia emisji CO₂ do zera podyktowany jest chęcią przeciwdziałania zmianom klimatu, natomiast ograniczenie emisji będzie miało poważne konsekwencje dla sposobu działania gospodarek krajów UE. Komisja Europejska wskazała branże, które zostaną poddane szczególnie silnej presji transformacyjnej. Jest to: transport, energetyka, rolnictwo, budownictwo, przemysł: stalowy, cementowy, ICT, tekstylny i chemiczny. Z kolei przedstawiając Europejski Zielony Ład, przewodnicząca KE, Ursula von der Leyen, stwierdziła iż „pomożemy naszej gospodarce zostać globalnym liderem poprzez bycie pierwszymi i poprzez szybkie działanie”¹, wskazując równocześnie na motywację i determinację w osiągnięciu stawianych celów: „jesteśmy zdeterminowani, aby odnieść sukces – dla naszej planety oraz życia na niej.” Postawiony przez polityczne kierownictwo UE cel klimatyczny jest bardzo ambitny. Przewodnicząca von der Leyen stwierdza, że osiągnięcie postawionych celów będzie porównywalne do lądowania człowieka na księżycu: „man on the Moon moment” (von der Leyen, 2019), gdyż Europa zostałaby pierwszym kontynentem neutralnym dla klimatu. Ambicja celu, w połączeniu z determinacją jego osiągnięcia oraz zaproponowanym bardzo szerokim instrumentarium działań ekonomicznych, wskazują wyraźnie na potężny potencjał transformacyjny gospodarki UE wynikający z tych działań. Kraje takie jak Polska, ze względu na oparcie swojego miks energetycznego na węglu kamiennym oraz brunatnym, będą poddawane szczególnie silnej presji nowych regulacji. W tym kontekście, od strony defensywnej, wynegocjowanie przez rząd Polski możliwości „opt-out” względem celu neutralności klimatycznej w 2050 r. jest posunięciem uwzględniającym wyższą skalę wyzwań, związaną z dużą rolą węgla. Równocześnie skala programów unijnych skierowanych na transformację i efektywność energetyczną otwiera pole do działań ofensywnych, nie tylko poprzez wykorzystanie możliwie maksymalnej części ogólnej puli (ponad 1 bln EUR w ramach Planu Inwestycyjnego Europejskiego Zielonego Ładu oraz dodatkowo 100 mld EUR w ramach Funduszu Sprawiedliwej Transformacji) do transformacji energetyki

¹ ang.: „by moving first and by moving fast”.

w Polsce, ale także do transformacji gospodarki Polski. Działania te mogłyby polegać na wytypowaniu obszarów, w ramach których polskie firmy zdobędą kompetencje i opracują technologie pozwalające na ekspansję na rynkach międzynarodowych. Innymi słowy: doświadczenia zdobyte w ramach polskiej transformacji energetycznej, skapitalizowane w postaci know-how, patentów i technologii, mogłyby się przyczynić do transformacji struktury polskiego przemysłu wytwórczego w stronę produkcji towarów i dostarczania usług o znacznie większej wartości dodanej niż obecnie.

W prezentowanej pracy postawiono za cel:

1. omówienie najważniejszych wniosków ekonomicznych wynikających z analiz specjalistycznych zawartych w przedstawionej monografii, a następnie wskazanie zasadniczych mechanizmów ingerencji w dotychczasowy sposób działania, zarówno pojedynczych firm, jak i całych sektorów, w związku z proponowanymi działaniami polityki klimatycznej;
2. refleksję na temat zasadniczego „ekonomicznego wspólnego mianownika” polityki klimatycznej UE – internalizację kosztów zewnętrznych, tj. uwzględnianie w koszcie towarów i usług kosztów klimatycznych i środowiskowych. Uwzględnienie tego czynnika powinno być głównym wyznacznikiem w sformułowaniu metodyki wyboru działań w zakresie transformacji energetycznej, która maksymalizowałaby efekt ekonomiczny podejmowanych działań.

1. Kluczowe obserwacje ekonomiczne wynikające z lektury tekstów specjalistycznych zawartych w niniejszej monografii

1.1. Polityka klimatyczna UE w perspektywie roku 2050²

Najważniejszym dokumentem opisującym cele i ambicje unijnej polityki klimatycznej jest przyjęty w grudniu 2019 r. **Europejski Zielony Ład** (ang. *European Green Deal*) (Komisja Europejska, 2019). Ten trzystronicowy dokument określa wizję stanu pożądanego w 2050 r., tj. osiągnięcie przez gospodarkę unijną poziomu zerowej emisji netto gazów cieplarnianych; na dalszych stronach omawiane są ramy polityk nakierowanych na realizację celu głównego. W ślad za tym dokumentem, w marcu 2020 r., przyjęto powiązany z nim **Plan Inwestycyjny Zielonego Ładu** oraz **Mechanizm Sprawiedliwej Transformacji** (Komisja Europejska, 2020a), które mają na celu:

- zapisanie w unijnym prawie celu osiągnięcia neutralności klimatycznej w 2050 r.,
- ustanowienie procesu monitorowania osiąganych celów,
- zdefiniowanie „procesu stosowanego w razie niewystarczających postępów” (Komisja Europejska, 2020b).

Powyższe wektory działań potraktowane łącznie oznaczają wyraźne przechodzenie z poziomu wizji na poziom planu operacyjnego, wraz z monitorowaniem osiągania kolejnych celów oraz sankcjami za opóźnienia w ich implementacji.

² Opracowano na podstawie: Szpak, 2020.

Również w marcu 2020 r. przyjęto **Nową Strategię Przemysłową dla Europy** (Komisja Europejska, 2020c) oraz zarys planu działań dotyczących gospodarki o obiegu zamkniętym **Circular Economy Action Plan** (Komisja Europejska, 2020d).

W maju 2020 r. zaprezentowano strategię „**Od pola do stołu**” („Field to fork”) (Komisja Europejska, 2020e), przewidującą utworzenie bardziej zrównoważonych systemów żywnościowych, dostarczających żywność lepszej jakości, przy mniejszym negatywnym wpływie rolnictwa na środowisko, oraz unijną **Strategię Na Rzecz Bio-różnorodności 2030** (Komisja Europejska, 2020f), stawiającą za cel ochronę wrażliwych zasobów naturalnych.

Podsumowując powyższe działania, można powiedzieć, iż koniec 2019 r. oraz pierwsza połowa 2020 r. to czas przyjęcia przez UE dokumentów ramowych w zakresie transformacji w stronę gospodarki zeroemisyjnej, które będą następnie transponowane na dokumenty i programy implementacyjne, rekomendacje i regulacje, kształtujące sposób działania sektora prywatnego poprzez:

1. Wpływ na polityki instytucji finansowych, banków i ubezpieczycieli, ale także inwestorów, samorządów i obywateli. Oddziaływanie na banki i inne instytucje kredytujące może np. uniemożliwiać finansowanie inwestycji niewpisujących się w unijną wizję; np. elektrowni wykorzystujących jako paliwo węgiel. Oddziaływanie na źródła finansowania wraz z oddziaływaniem na odbiorców tego finansowania (przedsiębiorstwa, obywatele, samorządy) oznacza zapewnienie pełnego spektrum oddziaływania „perswazyjnego” (rekomendacje, polityki, wytyczne).
2. Regulacje i normy zakazujące stosowania jednych, a nakazujące stosowanie innych typów technologii, nie tylko energetycznych. Tego typu działania, w istocie będące przekuciem na język norm technicznych” bardziej ogólnych polityk opisanych powyżej, stanowią „technologiczny front” ich oddziaływania. Jak zauważa Konrad Szpak (Szpak, 2020, s. 43), promocja konkretnych technologii niekoniecznie oznacza zmniejszanie emisyjności, natomiast stawia w uprzywilejowanej sytuacji firmy (i państwa) dysponujące odpowiednią technologią³, umożliwiając im czerpanie oligopolistycznej (bądź monopolistycznej) renty, obciążając równocześnie kosztami takich działań pozostałe podmioty – a finalnie konsumentów.

Narzucanie norm i technologii ma zasadniczo działanie kosztotwórcze. W niezaburzonym procesie rynkowym przedsiębiorstwa dobierają technologie pozwalające na uzyskanie pożądanych efektów (danej jakości produktów czy usług), konsekwentnie

³ Jeśli istotnie panuje konsensus co do egzystencjalnych zagrożeń płynących z emisji gazów cieplarnianych, którym skutecznie przeciwdziałać będzie zastosowanie danej technologii, należałoby na forach unijnych promować rozwiązanie polegające na tym, że jeśli narzucana jest konkretna technologia, którą dysponuje niewielka liczba podmiotów (bądź jeden podmiot), organy europejskie powinny rozszerzyć zakres swojej interwencji w ten sposób, aby zapewnić „zysk godziwy” dla firm, które zainwestowały w opracowanie i wdrożenie konkretnej technologii, ale jednocześnie nie stawiać ich na rynku europejskim w roli podmiotów zgarniających oligopolistyczny (bądź monopolistyczny) zysk z tytułu wyboru ich technologii przez europejską biurokrację.

poszukując innowacyjnych rozwiązań przy najniższych kosztach, co pozwala na dalszą ich redukcję. W tym kontekście prawdopodobieństwo, iż technologia narzucona metodami administracyjnymi będzie tańsza od tej dobrowolnie dobranej, jest praktycznie zerowe, gdyż jeśli taka technologia się pojawi, przedsiębiorcy sami ją zastosują. Prawdopodobieństwo, że narzucana technologia będzie tak samo kosztowna, jak te już stosowane, jest niewielkie (szczególnie jeśli uwzględnić koszty implementacji nowej technologii). Zdecydowanie największe prawdopodobieństwo należy przypisać wariantowi, w którym zastosowanie narzuconej technologii wymusi ponoszenie wyższych kosztów, a w konsekwencji wywoła wyższą cenę dla odbiorcy finalnego, konsumenta.

Wiele spośród działań planowanych w ramach Europejskiego Zielonego Ładu będzie się przekładać na wzrost kosztów, m.in.: objęcie systemem EU ETS nowych sektorów, w tym transportu lądowego, dalsze opodatkowanie energii czy też likwidacja zwolnień podatkowych w zakresie paliwa lotniczego i żeglugowego.

K. Szpak odnotowuje, iż także ewolucja systemu ETS⁴ w kierunku jego silniejszego przeciwdziałania emisjom gazów cieplarnianych (m.in. poprzez włączanie do systemu nowych sektorów, w tym transportu lądowego), przekładać się będzie na wzrost kosztów dla emitentów, transferowany w wyższe ceny dla odbiorców końcowych.

1.2. Zielone łańcuchy dostaw 4.0⁵

Jedną z kluczowych koncepcji składowych Zielonego Ładu są tzw. zielone łańcuchy dostaw. Katarzyna Nowicka wskazuje, że w ramach tej koncepcji zakłada się ich projektowanie w taki sposób, aby minimalizować łączny całkowity wpływ produktu na środowisko przez cały cykl jego życia; od zaprojektowania, poprzez produkcję, pakowanie, sprzedaż, użytkowanie i recykling, z uwzględnieniem procesów magazynowania, transportu i wymiany informacji, które powinny spełniać właściwe normy środowiskowe. Zielone łańcuchy dostaw można postrzegać jako kolejny stopień ewolucji łańcuchów dostaw. Te obecnie funkcjonujące optymalizowane są pod kątem minimalizacji czasu i kosztu dostaw oraz nie uwzględniają kosztów środowiskowych.

⁴ EU ETS – unijny system pułapów emisji oraz handlu prawami do emisji gazów cieplarnianych, obejmujący większość emisyjnych sektorów funkcjonujących w UE. Przedsiębiorstwom przyznawane są (odpłatnie bądź nie) prawa do emisji, które muszą one umarzać, kiedy do emisji gazów dochodzi. Systematyczne obniżanie pułapów emisji przekłada się na wzrost cen uprawnień, stanowiących dodatkowy koszt emitenta gazów. Rosnące koszty emisji gazów stanowią motywator dla ich emitentów do poszukiwania coraz mniej emisyjnych technologii, ale równocześnie stanowią koszt transferowany na konsumentów. W obszarach, gdzie postęp technologiczny w dziedzinie ograniczania emisji jest niewielki, oznacza to ciągłą presję na wzrost cen, wynikającą z wliczania coraz większego komponentu ceny emisji do ceny dóbr i usług. Ewolucja systemu nakierowana jest w stronę coraz większej siły jego oddziaływania na emitentów gazów cieplarnianych. Z punktu widzenia celu tego mechanizmu jest to jak najbardziej logiczne i zrozumiałe – natomiast oznacza i będzie oznaczać dalszy wzrost kosztów dla emitentów, transferowany na ceny dla odbiorców końcowych. Ewolucję systemu EU ETS szczegółowo omawia Szpak, 2020, 40–43.

⁵ Opracowano na podstawie: Nowicka, 2020.

Natomiast transformacja stawiająca w centrum uwagi chęć minimalizacji oddziaływania człowieka na środowisko postuluje uwzględnienie w planowaniu łańcuchów dostaw kosztów środowiskowych, tak aby były one coraz bardziej „zielone”. Logicznym dopełnieniem tej ścieżki jest gospodarka o obiegu zamkniętym, omawiana w kolejnym rozdziale.

Wracając do zielonych łańcuchów dostaw: cel w postaci minimalizacji łącznego całkowitego wpływu produktu na środowisko w całym jego cyklu życia wymaga optymalizacji wielu parametrów, przy zastosowaniu technologii informacyjnych, mogących uwzględnić wszystkie te dane. Równocześnie niezbędny będzie dostęp do zharmonizowanych danych pochodzących od wielu dostawców. Koszty (oraz emisyjność) w łańcuchach dostaw wymagać będą rozważenia m.in. uwarunkowań rynkowych (zmiany w poziomie popytu, przepustowość i pojemność po stronie odbiorcy), stosowanych praktyk logistycznych (dostawy dokładnie na czas, jakość koordynacji sekwencji dostawa-produkcja-dystrybucja i inne), regulacji (wielkość i masa pojazdu, kabozaż, zasady bezpieczeństwa), cech produktów (ich wielkość, wymogi transportowe), charakterystyki infrastruktury (niezawodność harmonogramów dostaw, dostępność miejsc załadunkowych i rozładunkowych) (Nowicka, 2020). Wyzwaniem dla implementacji tego rodzaju łańcuchów dostaw będzie dostęp do danych z poszczególnych źródeł oraz ich weryfikacja. Należy oczekiwać aktywnej roli agend unijnych w obszarze dostarczania tego rodzaju danych do sektora prywatnego. Różnorodność danych i źródeł ich pochodzenia będzie poważnym wyzwaniem, nie mniejszym będzie też harmonizacja danych („sprowadzenie do wspólnego mianownika” emisyjności, weryfikacja i uwzględnienie danych z innych obszarów gospodarczych, np. USA czy Chin) oraz dostarczenie ich w sposób możliwy do zrozumienia przez wszystkie zainteresowane podmioty, w tym firmy mikro, małe i średnie, dysponujące mniejszym potencjałem obróbki złożonych zestawów informacji. Punktem wyjścia dla tego rodzaju systemu informacyjnego będzie zapewne, rozwijana od początku lat 90. XX w., metodyka oceny kosztów zewnętrznych ExternE⁶, zaś elementem krytycznym powodzenia takiego podejścia będzie dostarczenie sektorowi prywatnemu danych, na których będzie mógł oprzeć swoje decyzje.

Z ekonomicznego punktu widzenia należy odnotować, iż internalizacja danych dotyczących wpływu różnych czynników na poziom obciążenia dla środowiska będzie dodatkowym obciążeniem operacyjnym (konieczność uwzględnienia dodatkowego

⁶ Pomimo dużych nadziei pokładanych w opracowaniu tej metodyki, pomimo intensywnych prac prowadzonych od początku lat 90. pod egidą Komisji Europejskiej oraz Departamentu Energii USA, następnie kontynuowanych przez kilkadziesiąt zespołów badawczych z kilkunastu krajów, poziom skomplikowania materii jest tak duży, że nie pozwala konkluzywnie wyliczać akceptowalnie precyzyjnych kosztów zewnętrznych możliwych do dodania do ceny bez uwzględnienia kosztów zewnętrznych, tak aby otrzymać wiarygodną cenę z uwzględnieniem tych kosztów – przy różnych założeniach wyniki mogą się różnić o kilka rzędów wielkości; podobnie rozwój nauki i uwzględnienie nowych szacunków diametralnie zmieniają koszty (Krewitt, 2002). Równocześnie jednak wypracowana metodyka pozwala na porównywanie kosztów pomiędzy różnymi metodami produkcji energii, dając zobiektywizowane narzędzie porównawcze i pozwalając na podejmowanie decyzji odnośnie polityk energetycznych i środowiskowych w warunkach niepewności (Krewitt, 2002).

zakresu informacji oraz przeformułowania swoich łańcuchów dostaw pod ich wpływem). Będzie to oznaczać konieczność zorganizowania łańcuchów produkcyjnych w sposób odbiegający od obecnego podejścia, minimalizującego koszty. Innymi słowy, przebudowa łańcuchów dostaw będzie jeszcze jednym elementem kosztotwórczym dla firm operujących na terenie UE. Po stronie szans wskazać należy możliwość wzmocnienia pozycji rynkowej dostawców komponentów, dóbr i usług charakteryzujących się niewielkim „śladem węglowym”.

1.3. Gospodarka o obiegu zamkniętym⁷

Koncepcja gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) zakłada dążenie do minimalizacji zużycia surowców, w tym w szczególności do minimalizacji ilości odpadów. Natomiast te, które powstaną, mają zostać w maksymalnym stopniu ponownie użyte, tak aby jak najmniejsza ich część musiała być recyklingowana bądź utylizowana. Jak zauważa Joanna Kulczycka (Kulczycka, 2020, s. 55), sama koncepcja gospodarki o obiegu zamkniętym nie jest ujęciem nowym, nawiązuje do wielu koncepcji szeroko dyskutowanych w literaturze w ostatnich trzech dekadach⁸. Szczególnie akcentowanym aspektem obecnego podejścia jest bardziej aktywne stymulowanie implementacji koncepcji GOZ ze względu na możliwe do osiągnięcia redukcje emisji gazów cieplarnianych. W związku z tym, iż połowa całkowitej emisji gazów cieplarnianych związana jest z wydobyciem i przetwarzaniem zasobów naturalnych, ograniczenie zużycia surowców dzięki „uszczelnieniu obiegu” nimi skutkowałoby niższą emisją tych gazów. Warto odnotowania jest również to, iż GOZ dotyczy nie tylko nowych technologii, lecz także nowych modeli biznesowych i rozwiązań organizacyjnych.

Minimalizacja zużycia zasobów (w tym surowców i materiałów) przy dostarczaniu konsumentom produktów i usług to najważniejszy cel przedsiębiorcy i przedsiębiorstw. Jak zauważa Ludwig von Mises, „działanie przedsiębiorcy nie polega tylko na eksperymentach z nową technologią, ale na wyselekcjonowaniu tej spośród technicznie możliwych metod, która najlepiej pozwoli dostarczyć konsumentom te dobra, których najbardziej pragną, po najniższej cenie” (von Mises, 2008, s. 10). Do takiego działania przedsiębiorcy nie muszą być dodatkowo motywowani, jest to bowiem centralny mechanizm działania rynku. Jeśli dane przedsiębiorstwo miało by dostarczać produkty nietrafiające w potrzeby konsumentów lub zbyt drogie, jest z rynku eliminowane. Tak więc, w zakresie czysto rynkowej minimalizacji kosztów, rynek nieustannie na bieżąco dokonuje optymalizacji. Można przyjąć założenie, iż nawet jeśli w danym momencie nie jest idealnie w punkcie najniższych kosztów, to nieustannie bardzo blisko tego punktu oscyluje. Istotą unijnych polityk klimatycznych jest uwzględnienie w sumie także kosztów środowiskowych. To dodatkowy czynnik kosztotwórczy, który odgrywać będzie coraz istotniejszą rolę w procesach gospodarczych na terenie UE, przy niewielkim (bądź zerowym) oddziaływaniu na procesy

⁷ Opracowano na podstawie: Kulczycka, 2020.

⁸ Np. ekologii przemysłowej, ekonomii ekologicznej, czystszej produkcji i innych. Szerzej: patrz Kulczycka, 2020.

gospodarcze w innych obszarach gospodarki globu⁹. Skala „ambicji klimatycznych” UE będzie się bezpośrednio przekładać na wzrost kosztów funkcjonowania unijnej gospodarki.

Promowanie i wspieranie GOZ bazować będzie na metodach uwzględniających cały ich cykl życia (*life cycle assessment*), czyli wytwarzanie, funkcjonowanie i likwidację wyrobu. Zapewnia to kompleksowe i całościowe uwzględnienie aspektów oddziaływania na środowisko, co uniemożliwia próby „przerzucania” kosztów środowiskowych (np. pomiędzy fazami produkcji lub pomiędzy producentami¹⁰). Raportowana jest nie tylko suma emisji gazów cieplarnianych, lecz także zakres śladu węglowego w trzech zakresach: pierwszy dotyczy emisji bezpośrednich powstających w procesach kontrolowanych przez dany podmiot, drugi zakres obejmuje emisje pośrednie dotyczące dostarczonej energii, zaś zakres trzeci to wszystkie inne pośrednie emisje powstałe w całym łańcuchu wartości (Kulczycka, 2020, s. 60–61).

Przy konsekwentnej implementacji polityki klimatycznej sektor przedsiębiorstw będzie musiał uwzględniać metryki, jak te wskazane powyżej, co oznaczać będzie z jednej strony konieczność zapewnienia wiarygodnych danych nt. emisji, zasadniczo we wszystkich procesach produkcyjnych, logistycznych, zagospodarowania odpadów, a także w trakcie samego użytkowania produktu (np. samochodu). Z drugiej strony powstaje konieczność stworzenia systemu informacyjnego (informatycznego) dostarczającego te dane oraz ich analizy po stronie przedsiębiorstw. Mnogość danych, które będą musiały być analizowane, podnosi barierę wejścia dla firm mniejszych, dysponujących skromniejszymi kompetencjami analitycznymi oraz mniejszymi budżetami na ewentualny outsourcing tych procesów analitycznych. Podnoszenie barier wejścia na rynki oznaczałoby z kolei mniejszy poziom konkurencji, a więc i wyższe ceny – oprócz wzrostu cen wynikających z uwzględniania kosztów środowiskowych należałoby się także liczyć ze wzrostem cen będących pochodną niższego poziomu konkurencji. Dodatkowym czynnikiem ryzyka jest to, iż – przy pełnym uwzględnieniu kosztów środowiskowych we wszystkich etapach życia produktu, oraz przy założeniu dużej wagi przywiązywanej do kwestii klimatycznych (np. spójnych z realizacją scenariusza zerowej emisji netto) – dany stan technologii może wymuszać określony łańcuch produkcyjny, przy zastosowaniu określonych technologii. Oznaczałoby to, z jednej strony zawężenie pola wyboru dla konsumentów, a z drugiej oligopolistyczną (bądź nawet monopolistyczną) pozycję dla firm dysponujących ochroną patentową dla procesu produkcyjnego „wymuszanego” wymogami polityki klimatycznej. Z kolei powstanie monopolu (bądź oligopolu) w zakresie technologii bezemisyjnych byłoby jeszcze jednym źródłem presji na wzrost cen dla odbiorców końcowych oraz źródłem renty monopolistycznej dla firm (i krajów) dysponujących tymi technologiami. Te zagrożenia, które materializowałyby się w tym większym

⁹ Sytuacja jednak może ulec zmianie: wybory prezydenckie w USA mogą przynieść zwycięstwo kandydata Demokratów, zaś partia ta ma już przygotowaną swoją wersję Zielonego Ładu dla USA. Z kolei Chiny deklarują chęć zajęcia miejsca „światowego lidera” w zakresie „zielonych technologii”.

¹⁰ Obecnie w raportach realizowanych na zamówienie KE do oceny wpływu na środowisko.

stopniu, im bardziej wytyczne polityki klimatycznej zdominowałyby czysty rachunek ekonomiczny. Początkowe etapy wdrażania tej polityki dotyczyć będą „nisko wiszących owoców”, takich jak „ekoprojektowanie” wyrobów umożliwiających ich łatwiejsze utrzymanie i naprawy oraz modernizację, wydłużenie okresu użytkowania produktów, skrócenia łańcuchów dostaw i lepszego wykorzystania IT w zarządzaniu gospodarką materiałami etc.¹¹.

1.4. Perspektywa ograniczenia emisji gazów cieplarnianych z transportu w metropolii – przypadek Warszawy¹²

Szacunki możliwości redukcji emisji CO₂ na przykładzie Warszawy, dokonane przez Wojciecha Szymalskiego (Szymalski, 2020), wskazują kilka interesujących faktów:

- całkowite przestawienie ruchu drogowego w tym mieście na napęd elektryczny dawałoby redukcję emisji CO₂ jedynie o 16%, gdyż samo zastąpienie samochodów spalinowych elektrycznymi, przy dominacji węgla w miksie energetycznym oznacza jedynie przeniesienie miejsca emisji CO₂, a nie zauważalną jej redukcję. Aby osiągnąć wymierne efekty redukcji emisji, niezbędna jest zmiana źródeł pozyskiwania energii elektrycznej;
- aktualne rządowe dokumenty strategiczne zakładają, że węgiel będzie wciąż źródłem dla ok. połowy produkcji energii elektrycznej w Polsce do 2050 r. Przy takim poziomie emisyjności i założeniu pełnej elektromobilności, redukcja emisji w transporcie w 2050 r. względem 2015 r. wynosiłaby ok. 46%, co byłoby wynikiem niewystarczającym do osiągnięcia neutralności klimatycznej (równoważnej redukcji w wysokości ok. 80%). Aby tę neutralność uzyskać, przy zakładanej emisyjności produkcji energii elektrycznej jak wyżej, należałoby o 95% ograniczyć ruch osobowy oraz o 40% ruch samochodów ciężarowych i o 50% komunikację miejską. W rezultacie ruch rowerowy musiałby wzrosnąć o 7000%, zaś ruch skuterów – o 3000%. Te liczby pokazują, że przy rozsądnych założeniach odnośnie krajowego miksu energetycznego (systematyczna redukcja udziału węgla, ale bez zmian typu rewolucyjnego) cel w postaci zerowej emisyjności transportu (a nie jest to najtrudniejsze zadanie w katalogu redukcji emisji w gospodarce) byłby możliwy do osiągnięcia jedynie przy założeniu tak dużych, że aż groteskowych zmian w sposobie funkcjonowania ludzi i gospodarki. Przykład ten pokazuje także, że cel, którego osiągnięcie „samo z siebie” byłoby jak najbardziej pożądane (zerowa emisyjność), po przetłumaczeniu na język liczb i konkretów okazuje się niemożliwy do osiągnięcia przy obecnym stanie techniki.

¹¹ Szerzej: patrz Kulczycka, 2020.

¹² Opracowano na podstawie: Szymalski, 2020.

1.5. Redukcja energochłonności w budownictwie¹³

Podejście zaprezentowane w tekście Michała Drewnioka, na przykładzie emisyjności przy budowie (w tym uwzględniając emisyjność użytych materiałów) i eksploatacji budynków, wydaje się konstruktywną, praktyczną odpowiedzią na wyzwania klimatyczne. Zaproponowane podejście top-down pozwala na szybką identyfikację obszarów, w których należy podjąć działania, aby uzyskać maksymalny możliwy efekt. Natomiast wskazanie, które technologie są do zastosowania „dziś”, a które „jutro” oraz wieloaspektowa (obszar społeczny, ekonomiczny i technologiczny) analiza proponowanych rozwiązań pozwalają na szybkie zdefiniowanie całego spektrum działań, ze wskazaniem na te najważniejsze i dające największe efekty. Wyjście od dostępnych technologii („dziś” bądź „jutro”), w połączeniu z wieloaspektową analizą typu efekty vs nakłady, reprezentują znacznie lepsze podejście od podejścia typu aspiracyjnego („zerowa emisyjność w 2050”), którego przełożenie na język liczb i konkretnych (przy dostępnej „dziś” lub prawdopodobnie dostępnej „jutro” technologii) wskazuje wprost na brak możliwości osiągnięcia celu aspiracyjnego lub tak wysoki jego koszt, że praktycznie niemożliwy do zaakceptowania przez społeczeństwa. Tekst M. Drewnioka przedstawia szczegółowe propozycje, natomiast metodyka jego podejścia („sprawdźmy, co możemy zrobić z dzisiejszą bądź jutrzejszą technologią, i zacznijmy działać tam, gdzie to przyniesie największe efekty”) były inspiracją dla propozycji przedstawionych w drugiej części poniższego tekstu. Poprzedzi go synteza wniosków ekonomicznych wynikająca z dotychczasowych rozważań.

2. Podsumowanie najważniejszych dotychczasowych wniosków

Publikacja Europejskiego Zielonego Ładu oraz dokumentów transponujących wizję zeroemisyjnej gospodarki na konkretne polityki oraz cele do osiągnięcia i kary za ich brak oznaczają zasadnicze przyspieszenie w analizowanym zakresie. Postawione cele są bardzo ambitne, kierownictwo polityczne UE wskazuje na wysoki poziom determinacji, aby je osiągnąć, co będzie wspierane przez dużą część opinii publicznej krajów UE (przynajmniej na początkowych etapach, kiedy realizowane będą projekty przynoszące widoczne efekty przy niewielkich kosztach). Równocześnie KE proponuje zrezygnować z zasady jednomyślności na rzecz kwalifikowanej większości głosów (Komisja Europejska, 2019, s. 6) przy podejmowaniu decyzji. Oznaczałoby to nieskuteczność sprzeciwu pojedynczych (bądź nawet bloków) krajów UE wobec tej polityki i jednocześnie niemożność powstrzymywania niekorzystnych ekonomicznie zmian, np. przez Polskę.

Zarówno koncepcja zielonych łańcuchów dostaw, jak i stanowiąca jej logiczne przedłużenie koncepcja gospodarki o obiegu zamkniętym jako cel mają minimalizację oddziaływania gospodarki na środowisko. Aby to osiągnąć, należy uwzględnić koszty środowiskowe w kosztach dóbr i usług. Stanowi to z jednej strony wyzwanie

¹³ Opracowano na podstawie: Drewniak, 2020.

praktyczne (uwzględnienie i sprowadzenie do wspólnego mianownika różnorodnych kosztów środowiskowych), natomiast kierunkowo będzie oznaczać dodatkowy czynnik kosztotwórczy. Producenci operujący na rynku europejskim będą zmuszeni uwzględniać w cenie swoich produktów koszty środowiskowe, których nie uwzględniają producenci operujący w innych regionach gospodarki globalnej. Oznaczać to będzie wyższy koszt towarów i usług wytwarzanych na terenie UE, a więc niższą konkurencyjność tych towarów na rynkach światowych. Aby przeciwdziałać „zalewowi” tańszych (bo nieuwzględniających kosztów środowiskowych) towarów spoza UE na rynek Unii, unijni regulatorzy postulują wprowadzenie mechanizmów dostosowywania cen towarów na granicach, z uwzględnieniem emisji CO₂, aby zmniejszyć ryzyko „ucieczki emisji”. Oznaczać to będzie dodatkowe „cło klimatyczne”, wprowadzane jednostronnie przez UE. Wprowadzenie takich regulacji zwiększa ryzyko wzrostu protekcjonizmu w handlu międzynarodowym, wraz z łączącym się z tym ryzykiem utraty części korzyści z handlu. Wprowadzenie na terenie UE dodatkowych kosztów klimatycznych dla przedsiębiorstw produkujących w UE i eksportujących do krajów poza Unią, gdzie tego rodzaju kosztów nie ma, zwiększa ryzyko przenoszenia produkcji przez te firmy na obszary, gdzie dokonują sprzedaży (tzw. *hollowing out*).

Jeśli przyjąć założenie, że postulowane obecnie polityki publiczne będą wdrażane z żelazną konsekwencją aż do osiągnięcia zerowej emisyjności, zaś wszystkie produkty oraz łańcuchy dostaw zostałyby przeprojektowane z celem minimalizacji wpływu na środowisko, to oznaczałoby fundamentalną przebudowę niemal całej gospodarki UE, wraz z postawieniem granic ekonomicznych wokół jej terytorium, na których dokonywano by „domiaru ekologicznego”, korekty cen towarów importowanych o równoważnik zawartego w nich „ślądu węglowego”. W takim maksymalistycznym ujęciu deklarowana polityka klimatyczna UE jawi się jako konstruktywistyczny projekt przebudowy całej gospodarki Unii, z osią zerowej emisyjności jako centralnym jej wyznacznikiem. Gdyby gospodarka Unii dominowała w skali globu (oraz gdyby istniały sposoby narzucenia dominacji innym obszarom), znacznie łatwiejsza do obrony byłaby teza o globalnym przywództwie klimatycznym oraz konieczności „wskazania drogi” tym, którzy jeszcze nie dostrzegają doniosłości wyzwania klimatycznego. Jednak, jak zauważa (Szpak, 2020), kraje UE odpowiadają za emisję mniej niż 10% antropogenicznego CO₂, zaś emisje globalne (mimo dotychczas wprowadzonych polityk) cały czas rosną. W tym kontekście, polityka klimatyczna UE, bardzo kosztowna dla gospodarki kontynentu, może okazać się niewiele znaczącą w obszarze przeciwdziałania faktycznym zmianom klimatycznym. To jednak obawy związane z „planem maksimum”. W międzyczasie Polskę i tak czeka przebudowa systemu energetycznego, podyktowana z jednej strony wiekiem znacznej części obecnego aparatu wytwórczego i sieci przesyłowych, budowanych „za Gierka”, a z drugiej strony ze względu na wyczerpywanie się zasobów węgla kamiennego, których wydobycie jest ekonomicznie uzasadnione. Historycznie krajowa struktura aparatu wytwarzania energii elektrycznej w znacznej mierze zdeterminowana była krajowymi zasobami węgla, natomiast ich wyczerpywanie pozwala na nowe spojrzenie na pożądaną strukturę aparatu wytwórczego, choć oczywiście zgromadzone doświadczenie, specjaliści etc. determinować będą dłuższą zależność od technologii opartych na węglu niż gdzie indziej.

3. Europejska transformacja energetyczna – szansa dla przebudowy krajowego systemu energetycznego

Zarysowane dotąd wątki jednoznacznie wskazują na ryzyka związane z polityką klimatyczną UE, które będą szczególnie dotkliwe dla krajów takich jak Polska, gdzie węgiel dominuje w strukturze pierwotnych nośników energii elektrycznej, co rzutuje na wysoką emisyjność jej produkcji. Równocześnie jednak, europejskie polityki publiczne można potraktować jako szansę wsparcia transformacji energetycznej. Uruchamiane programy, w tym Fundusz Sprawiedliwej Transformacji, pozwalają na użycie środków zewnętrznych do finansowego wsparcia procesu, który i tak musiałby mieć miejsce w krajowym systemie energetycznym.

Jak zauważają autorzy *Krajowego planu na rzecz energii i klimatu* (Ministerstwo Aktywów Państwowych, 2019), „możliwa jest polityka klimatyczno-energetyczna prowadząca do istotnej redukcji krajowej emisji CO₂ bez ujemnego wpływu na tempo rozwoju gospodarki, pod warunkiem szybkiej i skutecznej poprawy efektywności wykorzystania paliw i energii w gospodarce, zaś warunkiem koniecznym uniknięcia zaburzeń w długookresowym rozwoju kraju powodowanych zbyt szybką przebudową potencjału wytwórczego sektorów paliwowo-energetycznych jest skierowanie znacznych środków do wsparcia procesów oszczędzania i zwiększenia efektywności wykorzystania energii we wszystkich obszarach jej użytkowania, tj.: w produkcji przemysłowej, usługach i w gospodarstwach domowych, a kluczowym czynnikiem sukcesu transformacji energetycznej będzie wypracowanie skutecznego instrumentarium wsparcia działań proefektywnościowych adresowanych do odbiorców końcowych. W tym celu warto wykorzystać środki i instrumenty finansowe, np. ze sprzedaży uprawnień do emisji CO₂, fundusze pomocowe, w tym fundusze efektywności energetycznej, termomodernizacji itp.”.

Poszukując możliwie najbardziej efektywnego instrumentarium wsparcia dla odbiorców końcowych, należałoby uwzględnić następujące wymiary:

A. Wybór obszarów działań o największym potencjale redukcji emisyjności

Zasadniczym ekonomicznym rysem wielu rodzajów europejskich polityk klimatycznych, ich „wspólnym mianownikiem”, jest internalizacja kosztów zewnętrznych (głównie środowiskowych) do kosztów towarów i usług, tak aby skłaniać do wybierania tych o jak najmniejszym wpływie na środowisko. To jasna wskazówka wykorzystania tego samego podejścia do wyboru obszarów, gdzie jest największy potencjał redukcji emisyjności. Punktem wyjścia do analizy w tej płaszczyźnie mogłaby być europejska metodyka szacunków kosztów zewnętrznych wytwarzania energii ExternE¹⁴. Sporządzone przy jej użyciu (przy różnych założeniach) „mapowanie” obecnego stanu polskiej energetyki oraz różnych możliwych stanów docelowych pozwoliłoby nakreślić obszary działań o największym potencjale redukcji emisyjności.

¹⁴ http://www.externe.info/externe_d7/?q=node/1

B. Dobór narzędzi oddziaływania

Po określeniu obszarów o największym potencjale redukcji emisyjności należałoby określić metody oddziaływania na różne kategorie (gospodarstwa domowe, przedsiębiorstwa, samorządy etc.) końcowych odbiorców energii. Zgromadzone dotychczas doświadczenia, zarówno krajowe (np. dynamiczny przyrost instalacji fotowoltaicznych), jak i zagraniczne pozwalają na określenie katalogu działań (oraz wstępnej ich kalibracji), które w największym stopniu mogą się przyczynić do redukcji emisyjności. Istotną składową atrakcyjności tego rodzaju działań jest ich bezpośrednie przełożenie na sytuację podmiotów, do których są kierowane. Przykładowo, fotowoltaika wpływa na redukcję kosztów netto energii elektrycznej. Odpowiednie zwymiarowanie instalacji pozwala na znaczącą redukcję kosztów ogrzewania dla domów o parametrach izolacyjnych zbliżonych do pasywnych¹⁵. Należy rozważyć mechanizmy wsparcia budowy domów o podwyższonych parametrach izolacyjności. Z kolei dla sektora przedsiębiorstw atrakcyjne mogłyby się okazać niskoprocentowane kredyty na termomodernizację oraz poprawę efektywności energetycznej – stosując narzędzia zwrotne (kredyt, a nie dotacja) można wielokrotnie użyć tych samych środków, maksymalizując efekty. Dla samorządów interesujące mogą być projekty z zakresu biogazowni, dające miejsca pracy na terenach wiejskich, a poprzez bliskość miejsca wytwarzania energii oraz jej użytkowania pozwalające na minimalizację kosztów przesyłu. Opracowanie dobrych praktyk w tym względzie, wraz z pomocą wdrożeniową, mogłoby wykreować nowy rodzaj spółek gminnych, z jednej strony tworzących lokalne miejsca pracy, a z drugiej przyczyniających się do redukcji emisyjności produkcji energii. Tego typu działania, oferujące łatwo zrozumiałe korzyści dla poszczególnych rodzajów odbiorców końcowych, mają największe szanse zafunkcjonowania w szerokiej skali.

C. Potencjał wykreowania nowych technologii, potencjał transformacji gospodarki

Dodatkowym wymiarem wymienionych wyżej polityk powinna być ocena możliwości wykreowania nowych technologii, zbudowania bądź wzmocnienia firm, które krajową transformację energetyczną spożytkowałyby do zbudowania kompetencji oraz skali działania pozwalających na ekspansję na rynki międzynarodowe, tak aby krajowa transformacja energetyczna przełożyła się na transformację gospodarki w stronę generowania wyższej wartości dodanej. Wytypowanie obszarów rozwojowych powinno bazować na ocenie potencjału krajowych firm, zespołów badawczych oraz przewag komparatywnych, które te firmy już mają, bądź mogą mieć, wykorzystawszy zaoferowane im wsparcie. Mechanizmy wsparcia tego typu projektów powinny uwzględniać wysoki stopień partycypacji funduszy publicznych w pracach badawczo-rozwojowych (ze względu na relatywnie niewielką skalę działania polskich firm w porównaniu z ich międzynarodową konkurencją oraz ze względu na ryzyko związane z pracami badawczymi), przy równoczesnym preferowaniu instrumentów zwrotnych w odniesieniu do prac wdrożeniowych. Takie postawienie sprawy

¹⁵ W cyklu rocznym, przy założeniu możliwości rozliczania nadwyżek wypracowanych w okresie silnego nasłonecznienia z poborem prądu w okresie jesienno-zimowym.

od początku jasno wskazywałyby, że preferowane będą projekty, które „zarobią na sobie” po fazie wdrożeniowej, ze sprzedaży produktu końcowego jego finalnym odbiorcom – od początku motywując do przedstawiania projektów mających realną szansę na sukces rynkowy¹⁶. Maksymalizowałyby to szanse wykorzystania transformacji energetycznej do napędzenia transformacji części krajowego przemysłu w stronę wytwarzania produktów i usług o wyższej wartości dodanej, produktów i usług pożądanym na rynkach międzynarodowych.

Warto podjąć to wyzwanie.

Bibliografia

- Drewniak, M. (2020). Redukcja energochłonności w budownictwie. W: J. Gajewski, W. Paprocki (red.), *Polityka klimatyczna i jej realizacja w pierwszej połowie XXI wieku* (s. 70–113). Sopot: Centrum Myśli Strategicznych.
- External Costs of Energy. Pozyskano z: http://www.externe.info/externe_d7/?q=node/1
- Komisja Europejska. (2018). *Czysta planeta dla wszystkich. Europejska długoterminowa wizja strategiczna dobrze prosperującej, nowoczesnej, konkurencyjnej i neutralnej dla klimatu gospodarki*. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego, Komitetu Regionów i Europejskiego Banku Inwestycyjnego. COM(2018) 773. Bruksela: Komisja Europejska. Pozyskano z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0773&from=EN>
- Komisja Europejska. (2019). *Europejski Zielony Ład*. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. COM(2019) 640 final. Bruksela: Komisja Europejska. Pozyskano z: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0016.02/DOC_1&format=PDF
- Komisja Europejska. (2020a). *Finansowanie zielonej transformacji: plan inwestycyjny na rzecz Europejskiego Zielonego Ładu i mechanizm sprawiedliwej transformacji*. Pozyskano z: https://ec.europa.eu/regional_policy/pl/newsroom/news/2020/01/14-01-2020-financing-the-green-transition-the-european-green-deal-investment-plan-and-just-transition-mechanism
- Komisja Europejska. (2020b). Wniosek. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady ustanawiające ramy na potrzeby osiągnięcia neutralności klimatycznej i zmieniające rozporządzenie (UE) 2018/1999 (Europejskie prawo o klimacie). COM(2020) 80 final. Bruksela: Komisja Europejska. Pozyskano z: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/2bc20534-5e33-11ea-b735-01aa75ed71a1/language-pl/format-PDF>

¹⁶ Alternatywne podejście, zakładające wysoki poziom wsparcia bezzwrotnego ze środków publicznych (granty) również na etapie wdrożeniowym, mogłoby skłaniać do prowadzenia tych prac głównie ze względu na finansowanie samych działań badawczych i wdrożeniowych.

- Komisja Europejska. (2020c). *Nowa strategia przemysłowa dla Europy*. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. COM(2020) 102 final. Bruksela: Komisja Europejska. Pozyskano z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0102&from=EN>
- Komisja Europejska. (2020d). *Circular Economy Action Plan. For a cleaner and more competitive Europe*. Pozyskano z: https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new_circular_economy_action_plan.pdf
- Komisja Europejska. (2020e). *Od pola do stołu. Nasza żywność, nasze zdrowie, nasza planeta, nasza przyszłość*. Pozyskano z: https://Ec.Europa.Eu/Info/Strategy/Priorities-2019-2024/European-Green-Deal/Actions-Being-Taken-Eu/Farm-Fork_Pl
- Komisja Europejska. (2020f). *Unijna strategia na rzecz bioróżnorodności 2030. Przywracanie przyrody do naszego życia*. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. COM(2020) 380 final. Bruksela: Komisja Europejska. Pozyskano z: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:a3c806a6-9ab3-11ea-9d2d-01aa75ed71a1.0019.02/DOC_1&format=PDF
- Kulczycka, J. (2020). Gospodarka o obiegu zamkniętym dla zmian klimatu. W: J. Gajewski, W. Paprocki (red.), *Polityka klimatyczna i jej realizacja w pierwszej połowie XXI wieku* (s. 54–69). Sopot: Centrum Myśli Strategicznych.
- Krewitt, W. (2002). External costs of energy: do the answers match the questions? Looking back at 10 years of ExternE. *Energy Policy*, 30.
- von der Leyen, U. (2019). Press remarks by President von der Leyen on the occasion of the adoption of the European Green Deal Communication [przemówienie w Brukseli 11 grudnia 2019]. Pozyskano z: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/speech_19_6749
- Ministerstwo Aktywów Państwowych. (2019). *Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021–2030*. Załącznik 2. Pozyskano z: <https://www.gov.pl/web/aktywa-panstwowe/krajowy-plan-na-rzecz-energii-i-klimatu-na-lata-2021-2030-przekazany-do-ke>
- von Mises, L. (2008). *Profit and Loss*, Auburn: Ludwig von Mises Institute.
- Nowicka, K. (2020). Zielone łańcuchy dostaw 4.0. W: J. Gajewski, W. Paprocki (red.), *Polityka klimatyczna i jej realizacja w pierwszej połowie XXI wieku* (s. 114–135). Sopot: Centrum Myśli Strategicznych.
- Szpak, K. (2020). Polityka klimatyczna Unii Europejskiej w perspektywie 2050 roku. W: J. Gajewski, W. Paprocki (red.), *Polityka klimatyczna i jej realizacja w pierwszej połowie XXI wieku* (s. 34–53). Sopot: Centrum Myśli Strategicznych.
- Szymalski, W. (2020). Perspektywa ograniczenia emisji gazów cieplarnianych z transportu w metropolii – przypadek Warszawa. W: J. Gajewski, W. Paprocki (red.), *Polityka klimatyczna i jej realizacja w pierwszej połowie XXI wieku* (s. 158–177). Sopot: Centrum Myśli Strategicznych.

Streszczenie

Tekst omawia najważniejsze wnioski ekonomiczne płynące z analiz specjalistycznych zawartych w niniejszej monografii, wskazując na zasadnicze mechanizmy ingerencji w dotychczasowy sposób działania firm, sektorów oraz całych gospodarek, wynikające z działań regulacyjnych nakierowanych na przekształcenie obszaru UE w obszar o zerowej emisji CO₂ w perspektywie 2050 r.. Wskazano na ekonomiczny „wspólny mianownik” polityki ekonomicznej UE, jakim jest internalizacja kosztów zewnętrznych, tzn. uwzględnianie w koszcie towarów i usług kosztów klimatycznych i środowiskowych. Skłania to do wniosku, iż analiza właśnie pod tym kątem powinna prowadzić do wypracowania krajowej metodyki wyboru działań w zakresie transformacji energetycznej, która maksymalizowałaby efekt ekonomiczny i środowiskowy podejmowanych działań.

Słowa kluczowe: polityka energetyczna, europejski zielony ład, interwencjonizm, zniekształcenia rynku, polityka klimatyczna, skutki ekonomiczne polityki ochrony klimatu, zmiany klimatu.

ECONOMIC ASPECTS OF CLIMATE POLICY

SUMMARY

The text discusses the most important economic conclusions from the specialist analyses contained in this monograph, pointing out the main mechanisms of interference in the current way in which companies, sectors and entire economies operate, resulting from regulatory actions aimed at transforming the EU area into an area with zero CO₂ emissions by 2050. The economic “common denominator” of the EU economic policy, i.e. the internalisation of external costs (including climate and environmental costs in the cost of goods and services) has been pointed out, which leads to the conclusion that the analysis in this respect should lead to the development of a national methodology for the selection of energy transformation measures that would maximise the economic and environmental effect of the measures taken.

Keywords: energy policy, European Green Deal, interventionism, market distortions, climate policy, economic impact of climate policy, climate change.

JEL: Q58, Q54, Q48, H23

Ideę dokonania analizy i krytycznej oceny wpływu wybranych aspektów gospodarowania na skutki klimatyczne należy uznać za ze wszech miar potrzebną i wartościową z punktu widzenia interesu publicznego. (...) Analiza struktury książki dowodzi, że przyjęto zasadę rozwijania treści od ogółu do szczegółu. Dlatego trzy pierwsze fragmenty dotyczą spraw na wysokim poziomie uogólnienia i referują problematykę ewolucji cywilizacji ludzkiej, reakcji politycznej na pojawiające się negatywne zjawiska oraz idei gospodarki zamkniętej pętli jako remedium na klimatycznie negatywne ekonomiczne efekty zewnętrzne. Kolejne rozdziały dotyczą niektórych aspektów realnej gospodarki w perspektywie zagadnień klimatycznych. Ostatni jest swoistym podsumowaniem wcześniejszych rozważań.

Prof. dr hab. Piotr Banaszyk, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu (fragment recenzji)

Centralnym zagadnieniem jest zahamowanie globalnego ocieplenia, które jest w najbliższej przyszłości największym wyzwaniem dla mieszkańców Ziemi. W publikacji Autorzy reprezentujący różne dyscypliny nauki i ośrodki naukowe w Polsce i nie tylko (także Wielkiej Brytanii – Cambridge) przedstawili wyniki prac badawczych, w których analizowali przyczyny, możliwości, bariery i rozwiązania zmierzające do osiągnięcia zahamowania, a przynajmniej spowolnienia wzrostu temperatury na kuli ziemskiej.

Zalety recenzowanej publikacji:

1. interesująca tematyka,
2. poprawność merytoryczna,
3. interdyscyplinarność w prezentowaniu różnych zagadnień z zakresu polityki klimatycznej,
4. szczegółowe analizy istotnych dla redukcji emisji GHG branż,
5. duża ilość danych rzeczywistych i szacunkowych odnośnie redukcji energochłonności i emisyjności,
6. przekrój czasowy prezentowanych analiz,
7. włączenie do analiz danych i przemysłów z początkowego okresu pandemii COVID-19.

Dr hab. inż. Elżbieta Pietrzyk-Sokulska, em. prof. IGSMiE PAN (fragment recenzji)



ISBN 978-83-954392-4-7
EAN 9788395439247

