

McKinsey  
& Company

# Neutralna emisyjnie Polska 2050

Jak wyzwanie zmienić w szansę



## **McKinsey & Company w Polsce**

Polskie biuro McKinsey & Company istnieje od ponad 25 lat. Na przestrzeni tego ćwierćwiecza staliśmy się największą firmą doradztwa strategicznego w Polsce, która zatrudnia dziś ponad 1500 osób. Doradzamy największym polskim firmom oraz instytucjom publicznym. Braliśmy udział w transformacji kluczowych przedsiębiorstw w Polsce i przyczyniliśmy się do rozwoju firm, które dziś są liderami w sektorze bankowym i ubezpieczeniowym, dóbr konsumpcyjnych, energetycznym, naftowym, telekomunikacyjnym, wydobywczym i wielu innych. W sumie dla polskich klientów zrealizowaliśmy prawie tysiąc projektów. W 2010 r. otworzyliśmy Centrum Wiedzy we Wrocławiu, gdzie zatrudniamy dziś blisko 250 najwyższej klasy analityków. Rok później w Poznaniu powstało Centrum Usług Wspólnych, gdzie pracuje ponad tysiąc osób. Od 2017 r. w warszawskim biurze działa McKinsey Digital Lab. Nasi programiści, eksperci Big Data oraz konsultanci biznesowi wspierają firmy w zakresie kompleksowej transformacji cyfrowej i zaawansowanej analityki danych.

Więcej informacji na [www.mckinsey.com/pl](http://www.mckinsey.com/pl)

## **McKinsey & Company na świecie**

McKinsey & Company to globalna firma doradztwa strategicznego, wspierająca organizacje w tworzeniu zmian, które mają znaczenie. W ponad 130 miastach i 65 krajach nasze zespoły pomagają klientom z sektora prywatnego, publicznego i społecznego kształtować strategię i zmieniać sposób działania, stosować nowe technologie tam, gdzie przyniosą one dodatkową wartość, oraz wprowadzać zmiany – te, które są ważne dla danej organizacji, a także dla społeczeństwa jako całości.

Więcej informacji na [www.mckinsey.com](http://www.mckinsey.com)

## **Praktyka Zrównoważonego Rozwoju McKinsey**

Praktyka Zrównoważonego Rozwoju w ramach McKinsey pomaga firmom, inwestorom i instytucjom publicznym wykorzystywać możliwości, przekształcać procesy, zarządzać ryzykiem i stymulować wzrost w procesie kształtowania niskoemisyjnej, zrównoważonej gospodarki. W ramach Praktyki klienci mają dostęp do zintegrowanej, systemowej perspektywy w różnych sektorach, od energetyki i transportu po rolnictwo i towary konsumpcyjne, oraz we wszystkich funkcjach biznesowych, od strategii i ryzyka po operacje i technologie cyfrowe. Nasze autorskie badania i narzędzia wykorzystujące najnowsze technologie zapewniają szeroką bazę wiedzy, która jest niezbędna do podejmowania odpowiednich działań. Rezultatem są najnowocześniejsze rozwiązania, które pozwalają rozwijać model biznesu i umożliwiają trwałą poprawę wydajności zarówno nowym graczom, jak i liderom biznesowym.

Więcej informacji na [www.mckinsey.com/sustainability](http://www.mckinsey.com/sustainability)

# Neutralna emisyjnie Polska 2050

Jak wyzwanie zmienić w szansę

Hauke Engel, Marcin Purta, Eveline Speelman,  
Gustaw Szarek, Pol van der Pluijm

# Wstęp

Mimo niełatwego punktu startu w ostatnich dziesięcioleciach Polska rozpoczęła transformację systemu energetycznego. W kraju, którego PKB w ostatnich trzydziestu latach rósł o ok. 4 proc. rocznie<sup>1</sup>, udało się rozdzielić wzrost gospodarczy i wzrost emisji<sup>2</sup>.

Dekarbonizacja polskiej gospodarki to ogromne wyzwanie. Kraj nie ma wielu rzek, na których mogłyby powstać elektrownie wodne, a liczba godzin słonecznych wynosi 1,4-1,9 tys. rocznie<sup>3</sup>, czyli o połowę mniej niż w Kalifornii. Złoża gazu ziemnego są niewielkie, a czynniki geopolityczne sprawiają, że import tego surowca na odpowiednią skalę jest wyzwaniem. Morze Bałtyckie pozwala na rozwój morskiej energetyki wiatrowej na północy kraju, ale to na południu znajdują się obszary najbardziej energochłonne. Polska nie ma także elektrowni atomowej, w odróżnieniu od innych państw UE z byłego bloku wschodniego, takich jak Bułgaria, Czechy, Węgry, Rumunia czy Słowacja. Energetyka w znacznej mierze oparta jest na węglu. Istotny udział w emisji gazów cieplarnianych kraju ma również rolnictwo.

Dzisiaj jednak potrzeba szybkiej dekarbonizacji jest coraz bardziej paląca, gdyż szansa na zatrzymanie globalnego ocieplenia poniżej 2°C szybko maleje. Aby ograniczyć do zera emisję dwutlenku węgla netto do 2050 r., który został przyjęty jako termin realizacji celów UE w tym zakresie, a także jest punktem odniesienia w porozumieniu paryskim, już w ciągu najbliższej dekady Polska musiałaby czterokrotnie przyspieszyć dekarbonizację w porównaniu do tempa działań z poprzednich 30 lat.

W latach 2030-2050 zmiany musiałyby być jeszcze bardziej dynamiczne.

Osiągnięcie neutralności emisyjnej będzie wymagało dodatkowych inwestycji, których wartość w ciągu kolejnych 30 lat może sięgać 10-13 mld euro rocznie lub 1-2 proc. PKB. Pozyskanie i zainwestowanie takiego kapitału oraz skoordynowanie inwestycji będą na pewno dużym wyzwaniem dla władz kraju i biznesu.

Niestety, to nie wszystko. Gdy prace nad niniejszym raportem dobiegały końca, uwaga świata skupiła się na walce z koronawirusem oraz na łagodzeniu skutków gospodarczych pandemii. Nie wiemy dokładnie, jakie będą krótkoterminowe skutki kryzysu, jednak należy spodziewać się, że będą one poważne i mogą mieć niespotykaną skalę. Nie zakładamy jednak, że te perturbacje zmienią znacząco strukturę polskiej gospodarki czy wpłyną na dostępność technologii w obszarze dekarbonizacji. Z tego względu scenariusz dekarbonizacji przedstawiony w niniejszym raporcie oparliśmy na rzeczywistości biznesowej i dynamice wzrostu sprzed pandemii COVID-19.

Celem tego raportu nie jest przewidywanie przyszłości. W opracowaniu wskazujemy natomiast teoretyczny scenariusz, który może pozwolić zdekarbonizować polską gospodarkę w sposób najbardziej efektywny kosztowo. W raporcie przedstawiamy działania i inwestycje niezbędne do odpowiedniej redukcji emisji, a także wskazujemy szanse i korzyści związane z dekarbonizacją. Mamy nadzieję, że nasze opracowanie stanie się ważnym wkładem w merytoryczną dyskusję o tym, jak sprawić, by dekarbonizacja stała się faktem w Polsce i poza jej granicami.

Opracowanie tego raportu w ramach działań pro bono odzwierciedla zaangażowanie firmy McKinsey & Company w rozwój gospodarki Polski i jej sukces na arenie międzynarodowej. Niniejsza publikacja rozwija tezy przedstawione w poprzednich raportach, m.in. „Polska 2030. Szansa na skok do gospodarczej ekstraklasy”, „Rozwój morskiej energetyki wiatrowej w Polsce. Perspektywy i ocena wpływu na lokalną gospodarkę” i „Polska 2025: Nowy motor wzrostu w Europie”.

Tworząc ten raport i nasze analizy, ściśle współpracowaliśmy z wieloma działami McKinsey na całym świecie, m.in. z Sustainability Insights, Global Energy Perspective, Praktyką Zrównoważonego Rozwoju, Praktyką Rynku Motoryzacyjnego oraz z McKinsey Global Institute. Szczególnie chcielibyśmy podziękować Dickonowi Pinnerowi oraz Thomasowi Vahlenkampowi za ich zaangażowanie w powstanie tego raportu oraz wskazówki merytoryczne.

Opracowanie tej publikacji nie byłoby możliwe bez wkładu i wiedzy wielu innych podmiotów, w tym m.in. przedstawicieli instytucji publicznych, świata nauki, organizacji pozarządowych, organizacji zajmujących się ochroną środowiska oraz biznesu. W szczególności The Woods Hole Research Center (WHRC), we współpracy z The Nature Conservancy, na potrzeby tego raportu, dokonały oceny potencjału pochłaniania CO<sub>2</sub> na gruntach w Polsce.

Chcielibyśmy serdecznie podziękować wszystkim tym podmiotom za ich pomoc.

Hauke Engel, Marcin Purta, Eveline Speelman, Gustaw Szarek i Pol van der Pluijm

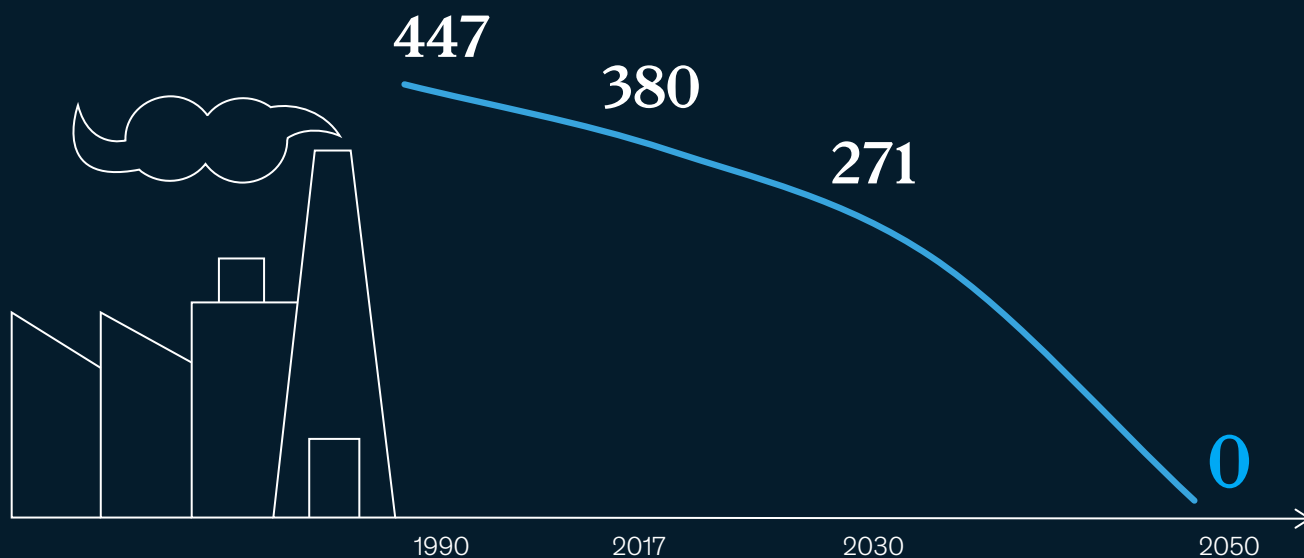
# Spis treści

Główne wnioski	4
Podsumowanie	6
Rozdział 1 Wyzwania dekarbonizacji	15
Rozdział 2 Dekarbonizacja gospodarki	21
Rozdział 3 Potencjalne ścieżki dekarbonizacji dla poszczególnych sektorów	31
Rozdział 4 Dekarbonizacja systemu energetycznego	43
Rozdział 5 Koszty i potencjalne skutki dekarbonizacji	55
Rozdział 6 Potencjalny plan dekarbonizacji	65
Załącznik A: Przegląd stosowanych skrótów	72
Załącznik B: Metodologia	73
Załącznik C: Podstawowe założenia według branż	74
Załącznik D: Bibliografia	77
Przypisy	79
Autorzy	82

# Główne wnioski

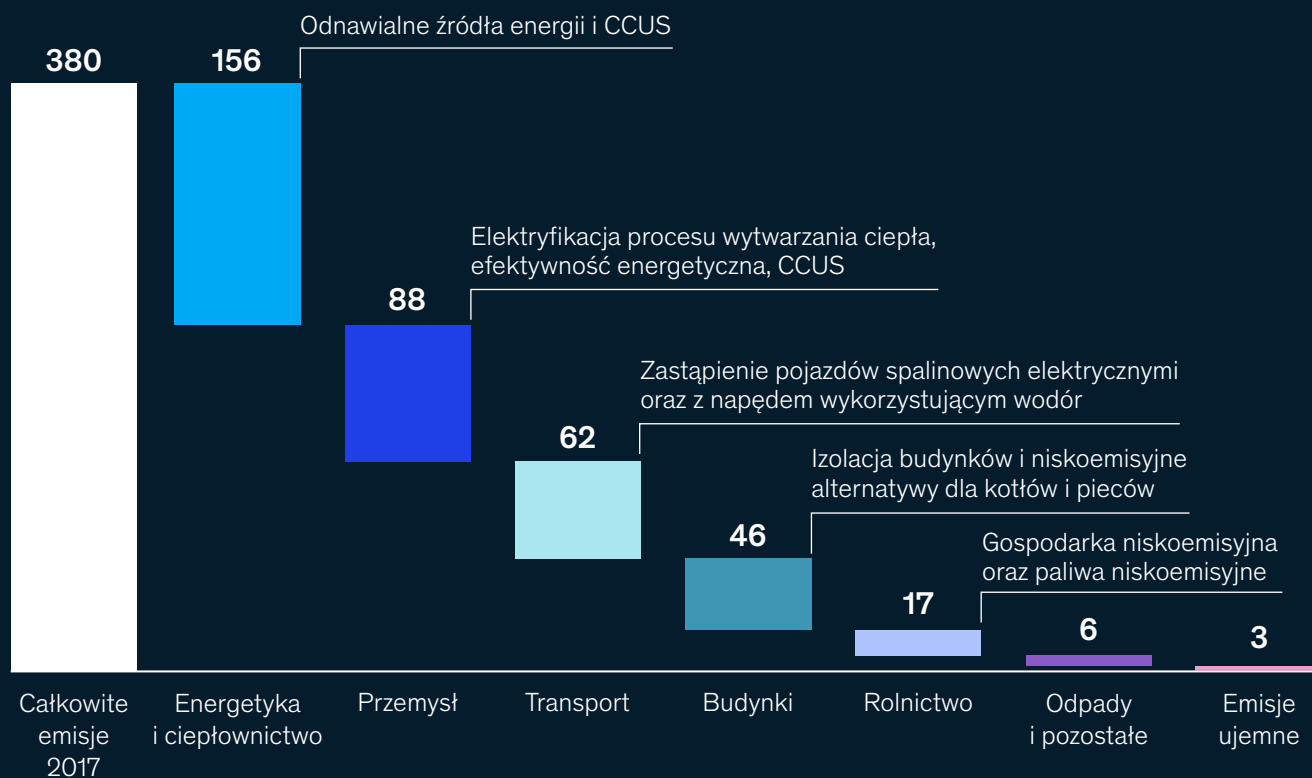
## Poziomy emisji i potencjalne cele ich obniżenia w Polsce

MtCO<sub>2</sub>e



## Główne dźwignie dekarbonizacji

MtCO<sub>2</sub>e



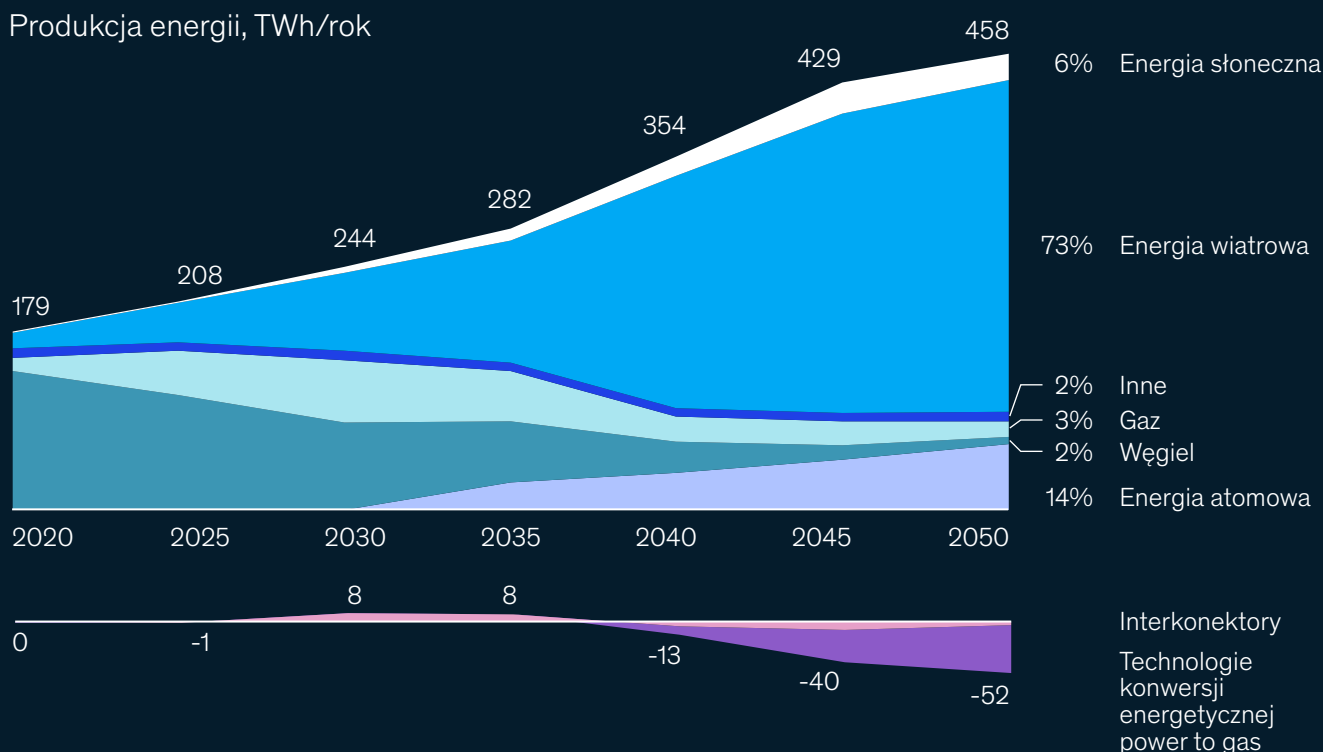
Źródła: GUS; Eurostat; EIU; KOBIZE;  
analizy McKinsey & Company

## Potencjalne zmiany w miksie energetycznym Polski do 2050 roku

Produkcja energii, TWh/rok

**~2,5x**

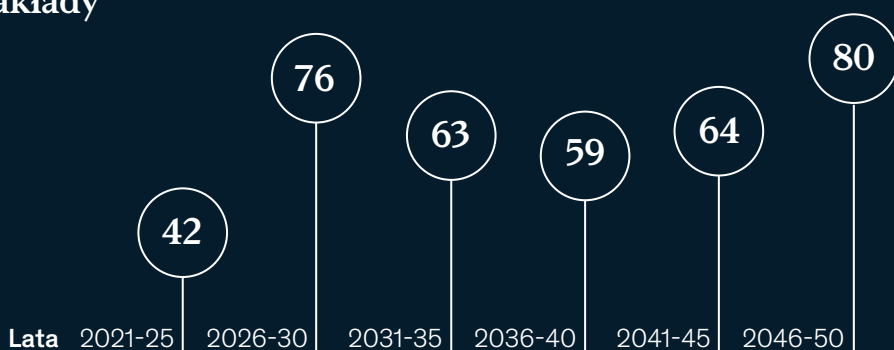
wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną w 2050 r. w stosunku do obecnego poziomu



## Potencjalne dodatkowe nakłady inwestycyjne

Mld euro

**380 mld euro** lub  
**1-2% PKB rocznie**



## Potencjalne korzyści z dekarbonizacji



**Oszczędności**

**75 mld euro**

zmniejszenie kosztów operacyjnych



**Bezpieczeństwo energetyczne**

**80%**

spadek importu paliw kopalnych



**Rozwój nowych gałęzi gospodarki**

**1-2%**

wzrost PKB

**250-300 tys.**

nowe miejsca pracy

# Podsumowanie

Kiedy w 2016 r. weszło w życie porozumienie paryskie, wiele państw na całym świecie zobowiązało się ograniczyć emisje gazów cieplarnianych do 2050 r. Głównym celem było utrzymanie wzrostu średniej temperatury poniżej 2°C, najlepiej na poziomie 1,5°C. W związku z tym kraje Unii Europejskiej, zaczęły szukać rozwiązań, które do 2030 r. pozwoliłyby w znacznym stopniu ograniczyć emisje, a do 2050 r. osiągnąć neutralność klimatyczną.

Emisja gazów cieplarnianych w Polsce zmalała z 447 MtCO<sub>2</sub>e (megaton ekwiwalentu dwutlenku węgla)<sup>4</sup> w 1990 r. do 380 MtCO<sub>2</sub>e w 2017 r. Ta redukcja była możliwa dzięki transformacji gospodarki centralnie planowanej opartej na przemyśle w gospodarkę bazującą w dużej mierze na usługach. Udało się też znacznie poprawić efektywność energetyczną przemysłu, obniżyć zużycie węgla kamiennego i brunatnego oraz zwiększyć udział energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych (OZE).

Pomimo postępów w 2017 r. Polska znalazła się na trzecim miejscu wśród państw UE pod względem wielkości emisji gazów cieplarnianych w stosunku do PKB (800 g CO<sub>2</sub>e na każde euro PKB). W ujęciu absolutnym w Polsce wygenerowano w 2017 r. 414 MtCO<sub>2</sub>e, z czego 34 MtCO<sub>2</sub>e zostało skompensowanych dzięki pochłanianiu dwutlenku węgla w ramach użytkowania gruntów i lasów (tzw. LULUCF, czyli Land Use, Land-Use Change and Forestry).

## Dekarbonizacja gospodarki

Istnieje wiele potencjalnych scenariuszy osiągnięcia przez Polskę neutralności emisyjnej do 2050 r. W tym raporcie przedstawiamy ścieżkę najbardziej efektywną kosztowo. Proponowany scenariusz dotyczy lat 2020-2050, czyli kluczowego okresu z punktu widzenia bieżących decyzji

inwestycyjnych oraz osiągania celów przyjętych w porozumieniu paryskim.

W naszym scenariuszu zakładamy, że do 2050 r. Polska jest w stanie obniżyć poziom emisji gazów cieplarnianych względem 2017 r. o 91 proc. oraz zwiększyć pochłanianie dwutlenku węgla na tyle, by zrekomensować pozostałe 9 proc. emisji, których ograniczenie jest szczególnie trudne. Tym samym Polska mogłaby osiągnąć neutralność emisyjną do 2050 r.

Emisje w Polsce powstają głównie w pięciu sektorach i obszarach gospodarki: przemyśle, transporcie, budynkach (a szczególnie ich ogrzewaniu), rolnictwie i energetyce. Aby do 2050 r. osiągnąć neutralność emisyjną, konieczne są działania we wszystkich tych obszarach. Chodzi głównie o zwiększenie efektywności energetycznej i rezygnację z paliw kopalnych na rzecz bezemisyjnych źródeł energii (w tym energii elektrycznej, wodoru i amoniaku).

W zdekarbonizowanej gospodarce zapotrzebowanie na energię będzie znacznie większe, dlatego też w raporcie określiliśmy potencjalny miks energetyczny, który może sprostać rosnącym potrzebom przy możliwie największym ograniczeniu emisji.

W raporcie przyjmujemy długoterminową perspektywę dla polskiej gospodarki w całym analizowanym okresie, bez uwzględniania skutków różnych krótkoterminowych wstrząsów, które prawdopodobnie wystąpią w ciągu najbliższych 30 lat.

Wyjątkowym zdarzeniem jest niewątpliwie pandemia koronawirusa, która rozpoczęła się jeszcze w trakcie prac nad raportem. Chociaż jej krótkoterminowy wpływ jest bezprecedensowy, a skutki długoterminowe jeszcze nie są jasne, potrzeba dekarbonizacji oraz rozwiązania pozwalające

# 380

MtCO<sub>2</sub>e

Emisja gazów cieplarnianych w 2017 r.



osiągnąć neutralność klimatyczną nie powinny się znacząco zmienić.

### **Przeciwdziałanie zmianom klimatu w rzeczywistości po pandemii**

W czasie pandemii koronawirusa wprowadzono nadzwyczajne restrykcje, aktywność gospodarcza została ograniczona, a wszyscy – obywatele i firmy – skupili się na dostosowaniu do nowych realiów, przeciwdziałaniu nowemu zagrożeniu oraz łagodzeniu skutków pandemii i potencjalnej recesji.

Czy w tej sytuacji świat może sobie pozwolić na przeciwdziałanie zmianom klimatycznym i wspieranie zrównoważonego rozwoju? Jak wskazujemy w artykule „Addressing

climate change in a post-pandemic world”<sup>5</sup>, nie można zaprzestać walki ze zmianami klimatycznymi. To działania podjęte w najbliższej dekadzie będą miały kluczowe znaczenie w procesie dekarbonizacji, a inwestycje w infrastrukturę odporną na zmiany klimatyczne oraz przejście do gospodarki niskoemisyjnej mogą przyczynić się do stworzenia nowych miejsc pracy w perspektywie krótkoterminowej przy jednoczesnym zwiększeniu odporności gospodarczej i środowiskowej.

Według naukowców, między innymi z Uniwersytetu Stanforda, zmiany klimatyczne mogą przyczynić się do kolejnych pandemii<sup>6</sup>. Rosnące temperatury mogą m.in. stworzyć warunki do rozprzestrzeniania się



niektórych chorób zakaźnych przenoszonych przez komary, takich jak malaria i denga. Kurczące się siedliska naturalne z kolei zmuszają różne gatunki zwierząt do migracji, zwiększając ryzyko rozprzestrzeniania się patogenów. Z drugiej strony, czynniki, które zmniejszają ryzyko dla środowiska naturalnego – np. optymalizacja konsumpcji, skracanie łańcuchów dostaw, zwiększanie udziału białka roślinnego w diecie, ograniczanie zanieczyszczeń – prawdopodobnie mogą zmniejszyć ryzyko pandemii.

Pandemia znacząco wpłynęła na nasz sposób życia. Zapewne niektóre tymczasowe rozwiązania zostaną z nami również po zniesieniu ograniczeń. Do tych, które mogą wspierać ochronę klimatu, należą np. praca zdalna i częstsze korzystanie z kanałów cyfrowych czy lokalnych dostawców. Dzięki temu może zmniejszyć się natężenie ruchu, a tym samym emisje. Poza tym niższe stopy procentowe mogą wspierać powstawanie niskoemisyjnej infrastruktury oraz dostosowywanie już istniejącej. To z kolei może przyczynić się do powstawania nowych miejsc pracy.

### **Dekarbonizacja sektorów gospodarki**

#### **Przemysł**

W 2017 r. sektor przemysłowy odpowiadał za 22 proc. wszystkich emisji (91 MtCO<sub>2</sub>e w Polsce). Pochodziły one głównie z procesu produkcji paliw, cementu, chemikaliów i stali. Z naszych szacunków wynika, że do

2050 r. emisja z produkcji przemysłowej w Polsce może wzrosnąć o 19 proc. Z drugiej strony, rozwój przemysłu stworzy szansę na wykorzystanie technologii nieskoemisyjnych w nowo powstających zakładach.

Z naszych analiz wynika, że redukcja emisji w przemyśle może sięgnąć 97 proc. Mogłoby się tak stać dzięki poprawie efektywności energetycznej, elektryfikacji procesu wytwarzania ciepła i technologii wychwytywania, wykorzystywania i składowania dwutlenku węgla (CCUS, ang. Carbon Capture, Utilization and Storage).

#### **Transport**

W 2017 r. transport odpowiadał za emisję 63 MtCO<sub>2</sub>, tj. 15 proc. całkowitych emisji w Polsce. 98 proc. emisji pochodziło z transportu drogowego, zaś pozostałe 2 proc. z transportu kolejowego i lotniczego w obrębie kraju. Z naszych analiz wynika, że osiągnięcie przez Polskę neutralności klimatycznej do 2050 r. wymagałoby niemal całkowitej redukcji emisji generowanych przez sektor transportowy (99 proc. redukcji, tj. 62 MtCO<sub>2</sub>).

Technologie, które pozwolą obniżyć emisje generowane przez ten sektor, wymagają przede wszystkim zastąpienia pojazdów z napędem spalinowym pojazdami elektrycznymi oraz – w przypadku ciężarówek i autobusów – z napędem wykorzystującym wodór (np. przez zastosowanie ogniw paliwowych).

Spadek zapotrzebowania na usługi transportowe może wynikać ze zmiany zachowań oraz pojawienia

# **Dekarbonizacja całego systemu gospodarczego w perspektywie najbliższych 30 lat to przedsięwzięcie ambitne i niezwykle złożone**

się nowych środków transportu, takich jak hulajnogi elektryczne, co nie zostało uwzględnione przy tworzeniu niniejszego raportu.

### **Budynki**

W 2017 r. emisje związane z budynkami – głównie procesami ich ogrzewania oraz klimatyzowania – stanowiły 11 proc. emisji w Polsce (46 MtCO<sub>2</sub>e). 84 proc. pochodziło z sektora mieszkalnego, a 16 proc. z komercyjnego. Działania związane z obniżaniem wielkości emisji w tym obszarze można podzielić na dwie kategorie. Po pierwsze, można zwiększać wydajność energetyczną obiektów budowlanych dzięki stosowaniu lepszej izolacji, co pozwala zmniejszyć zużycie energii zarówno przy ogrzewaniu, jak i chłodzeniu budynków. Po drugie, można ograniczyć wykorzystanie wysokoemisyjnych źródeł energii, zastępując bojlerami i piece opalane węglem, gazem lub olejem opałowym urządzeniami zasilanymi energią z niskoemisyjnych źródeł alternatywnych.

### **Rolnictwo**

W 2017 r. rolnictwo odpowiadało za 11 proc. (44 MtCO<sub>2</sub>e) emisji w Polsce, z czego 75 proc. pochodziło z metanu i tlenków azotu, powstałych głównie w związku z wykorzystaniem nieorganicznych nawozów sztucznych do użytkowania gleby, uprawą gleb organicznych oraz w procesie fermentacji jelitowej u bydła mlecznego i mięsnego. Pozostałe 25 proc. to CO<sub>2</sub> generowany głównie na skutek zużycia paliwa przez maszyny rolnicze. Wśród rozwiązań dekarbonizacyjnych w sektorze rolnictwa można wymienić niskoemisyjną gospodarkę gruntową (np. optymalizację nawożenia i ograniczanie orki), upowszechnianie paliw niskoemisyjnych (szczególnie amoniaku) w maszynach rolniczych oraz ograniczanie fermentacji jelitowej (np. poprzez optymalizowanie paszy, poprawę stanu zdrowia zwierząt i wykorzystanie odpowiednich ras w hodowli).

### **Energetyka**

Odejście od produkcji energii z paliw kopalnych na rzecz odnawialnych



źródeł energii będzie dla Polski olbrzymim wyzwaniem. Obecnie węgiel utrzymuje dominującą pozycję w polskim sektorze energetycznym. Według danych z 2018 r. 77 proc. energii elektrycznej generowane było w elektrowniach węglowych, a co za tym idzie w największym stopniu przyczyniała się ona do emisji gazów cieplarnianych. 7 proc. wytwarzanej w Polsce energii pochodziło z gazu. Energetyka wiatrowa, słoneczna i pozostałe OZE stanowiły w sumie 13 proc., a pozostałe źródła około 3 proc.<sup>7</sup>.

Analiza modelu systemu energetycznego Polski bez dekarbonizacji wskazuje, że do 2050 r. spodziewać się należy 50-procentowego wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną. Będzie to wynikiem wzrostu aktywności gospodarczej, powiązanego ze wzrostem PKB. Z kolei elektryfikacja, poprzez m.in. wprowadzenie na rynek pojazdów elektrycznych, pomp ciepła w budynkach i pieców elektrycznych w przemyśle, oznaczałaby wzrost zapotrzebowania o kolejne 50 proc.

Infrastruktura energetyczna w Polsce się starzeje – około dwóch trzecich mocy elektrowni węglowych w kraju ma więcej niż 30 lat. Biorąc pod uwagę przewidywany cykl życia liczący maksymalnie 60 lat, do 2050 r. konieczna będzie ich wymiana. Ponadto, aby sprostać spodziewanemu wzrostowi zużycia energii elektrycznej, konieczne będą inwestycje w nową infrastrukturę energetyczną. To stwarza okazję do zastąpienia produkcji energii z paliw kopalnych technologiami bezemisyjnymi.

Chcąc całkowicie zdekarbonizować system energetyczny do 2050 r., należałoby podjąć działania w trzech obszarach. Po pierwsze, w latach 2020-2050 należy zmniejszyć o prawie 95 proc. udział energetyki węglowej (czemu powinno towarzyszyć obniżenie o 80 proc. mocy wytwórczych). Po drugie, należy spodziewać się coraz większego udziału energii ze źródeł odnawialnych w całkowitym miksie energetycznym Polski – w 2050 r. energia pochodząca ze słońca

i wiatru stanowiłaby około 80 proc. całkowitej produkcji energii. Po trzecie, w okresie transformacji istotną rolę będzie musiał odegrać gaz – w latach 2025-2030 to właśnie to źródło mogłoby pokryć 20-25 proc. zapotrzebowania na energię i odegrać istotną rolę w utrzymaniu równowagi systemu w kolejnych latach.

W naszej szczegółowej analizie potencjału wytwórczego Polski energia pochodząca z wiatru może stać się największym pojedynczym źródłem energii po 2030 r. i do 2050 r. odpowiadać za około 75 proc. całkowitej produkcji energii. Według tego scenariusza moce wytwórcze morskiej energetyki wiatrowej mogłyby wzrosnąć do 45 GW i w 2050 r. odpowiadać za 53 proc. całkowitej produkcji energii. Z kolei moc wytwórcza lądowych elektrowni wiatrowych do 2050 r. mogłaby osiągnąć 35 GW, stanowiąc 20 proc. całkowitej produkcji energii. Do 2050 r. energia słoneczna może stanowić około 6 proc. całkowitej produkcji.

Nasz model dekarbonizacji zakłada, że kraj będzie realizować plany uruchamiania elektrowni atomowych zgodnie z najnowszymi założeniami Polityki energetycznej Polski. Oznaczałoby to, że w latach 2033-2043 powstaną zakłady o mocy wytwórczej 6-9 GW<sup>8</sup>. Wyprodukowana w ten sposób energia atomowa do 2050 r. mogłaby pokryć około 14 proc. całkowitego zapotrzebowania. W 2050 r. reszta generowanej energii mogłaby pochodzić z biomasy i elektrowni wodnych, a także węglowych, wyposażonych w technologie CCUS.

## Koszty i efekty dekarbonizacji gospodarki

Proces dekarbonizacji może mieć wpływ na całą strukturę gospodarczą kraju. W raporcie omawiamy główne skutki makroekonomiczne, które mogą być konsekwencją dekarbonizacji w zakładanym przez nas scenariuszu.

### Wyższe wydatki inwestycyjne

Z naszych szacunków wynika, że nawet bez inwestycji związanych

~75%

całkowitej produkcji energii może pochodzić z wiatru do 2050 r.



z dekarbonizacją (tzw. scenariusz business-as-usual) wydatki Polski na niezbędną wymianę infrastruktury i budowę nowych jej elementów w pięciu przeanalizowanych przez nas obszarach (energetyka, budynki, transport, przemysł i rolnictwo) wyniosą 1200-1300 mld euro. Pełna dekarbonizacja będzie wymagała większych nakładów inwestycyjnych, np. w nowe rozwiązania dotyczące mobilności, modernizację infrastruktury energetycznej czy budynków. Z naszych analiz wynika, że w latach 2020-2050 te dodatkowe nakłady inwestycyjne wynikające z całkowitej dekarbonizacji wyniosłyby w sumie 380 mld euro, czyli średnio 13 mld euro rocznie. Jednocześnie można się spodziewać się, że koszty operacyjne zmniejszą się o 75 mld euro.

Wartość wspomnianych dodatkowych inwestycji sięga 1-2 proc. PKB Polski i 10-12 proc. bieżących rocznych

inwestycji w gospodarkę kraju. Wzrost nakładów inwestycyjnych, który pociągnęłaby za sobą dekarbonizacja, pozwoliłby Polsce dorównać unijnej średniej, która wynosi ok. 22 proc. PKB<sup>9</sup>.

#### **Poprawa bilansu handlowego**

Dekarbonizacja powinna poprawić bilans handlowy kraju. Wynikałoby to głównie ze spadku importu paliw kopalnych o ok. 15 mld euro w skali roku.

#### **Wyższy wzrost gospodarczy**

Z naszych analiz wynika, że znaczące korzyści gospodarcze mógłby Polsce przynieść rozwój niskoemisyjnych gałęzi gospodarki. Chodzi na przykład o produkcję komponentów pojazdów elektrycznych, morską energetykę wiatrową na Bałtyku, produkcję elektrycznych pomp ciepła oraz elektrycznych maszyn rolniczych, a także działalność badawczo-rozwojową i wdrożenia technologii (BE)CCUS (tj. bioenergii

z wychwytywaniem, wykorzystaniem i składowaniem dwutlenku węgla). Te pięć obszarów ma potencjał, by zwiększyć wzrost gospodarczy o 1-2 proc. i przyczynić się do powstania 250-300 tys. nowych miejsc pracy.

Oczywiście analizując koszty i korzyści związane z dekarbonizacją, należy wziąć pod uwagę fakt, że w najbliższym czasie działania na rzecz klimatu mogą wydać się mniej istotne niż konieczność walki z ekonomicznymi skutkami pandemii koronawirusa. Takie podejście może wpłynąć na planowane inwestycje, podjęte zobowiązania czy kwestie regulacyjne. Warto jednak pamiętać, że inwestowanie w infrastrukturę oraz technologie niskoemisyjne może stworzyć wiele nowych miejsc pracy oraz przyspieszyć odbudowę gospodarki.

### **Potencjalny plan dekarbonizacji**

Przestawienie gospodarki na neutralną klimatycznie będzie wymagało skoordynowania wielu działań. W większości sektorów gospodarki dostępne są obecnie technologie, które pozwolą zmniejszyć emisje już w najbliższych latach, a także umożliwią pełną dekarbonizację do 2050 r. Wyjątkiem jest przemysł, który do pełnej dekarbonizacji wymaga rozwoju technologii CCUS.

Aby polska gospodarka w pełni zdekarbonizowała się do 2050 r., już w ciągu najbliższych 10 lat we

wszystkich sektorach należy zacząć wykorzystywać efektywne kosztowo technologie niskoemisyjne, np. modernizując budynki, elektryfikując transport miejski czy rozwijając morską energetykę wiatrową.

Efektywny kosztowo scenariusz dekarbonizacyjny zakłada, że w latach 2030-2040 skala rozpoczętych wcześniej działań zwiększy się, wdrożone zostaną dodatkowe technologie niskoemisyjne, takie jak wspomniane wcześniej rozwiązania (BE)CCUS, a paliwa kopalne stosowane w przemyśle zostaną zastąpione dzięki wykorzystaniu wodoru i biogazu. Aby do 2050 r. w pełni zakończyć proces dekarbonizacji, trzeba będzie podjąć działania także w tych obszarach, gdzie emisje najtrudniej zredukować, np. na szeroką skalę wdrożyć technologie wychwytywania i składowania dwutlenku węgla (CCUS) w przemyśle czy stworzyć w Polsce sieć ciepłowniczą opartą na niskoemisyjnych źródłach ciepła.

Wśród licznych działań, które mają doprowadzić do dekarbonizacji polskiej gospodarki, należy wymienić:

- Stworzenie kompleksowego planu dekarbonizacji, który pomoże różnym branżom wprowadzić odpowiednie zmiany i da inwestorom poczucie bezpieczeństwa, a co za tym idzie zapewni środki na inwestycje.
- Opracowanie systemu finansowania inwestycji, zapewniającego

# **Inwestowanie w infrastrukturę oraz technologie niskoemisyjne może stworzyć wiele nowych miejsc pracy oraz zwiększyć wzrost gospodarczy**



dostateczny poziom kapitału. Niezbędne środki mogłyby dostarczyć firmy energetyczne i przemysłowe, sektor rolny, konsumenci oraz instytucje rządowe. W odpowiednim otoczeniu regulacyjnym niektóre gałęzie gospodarki (np. produkcja energii ze źródeł odnawialnych) mają szansę przyciągnąć również inwestorów prywatnych.

- Modernizację oraz rozbudowę infrastruktury, co umożliwi wdrożenie zmian technologicznych.
- Zmiany regulacyjne i inne, które pozwolą odblokować proces transformacji (np. zapewnienie odpowiednio wyszkolonego personelu i wsparcie dla rozwoju i wdrażania technologii). Tym

działaniom powinno towarzyszyć tworzenie przyjaznego otoczenia biznesowego.

Dekarbonizacja całego systemu gospodarczego w perspektywie najbliższych 30 lat to przedsięwzięcie ambitne i niezwykle złożone. Transformacja na taką skalę będzie wymagała rozwiązania wielu kwestii prawnych dotyczących środowiska naturalnego i łańcuchów dostaw. Biorąc pod uwagę kryzys spowodowany przez pandemię koronawirusa, wyzwanie zapewne będzie jeszcze większe. Warto jednak pamiętać, że dzięki dekarbonizacji w Polsce mają szansę powstać nowe branże oraz nowoczesna gospodarka oparta na wiedzy.





# Wyzwania dekarbonizacji

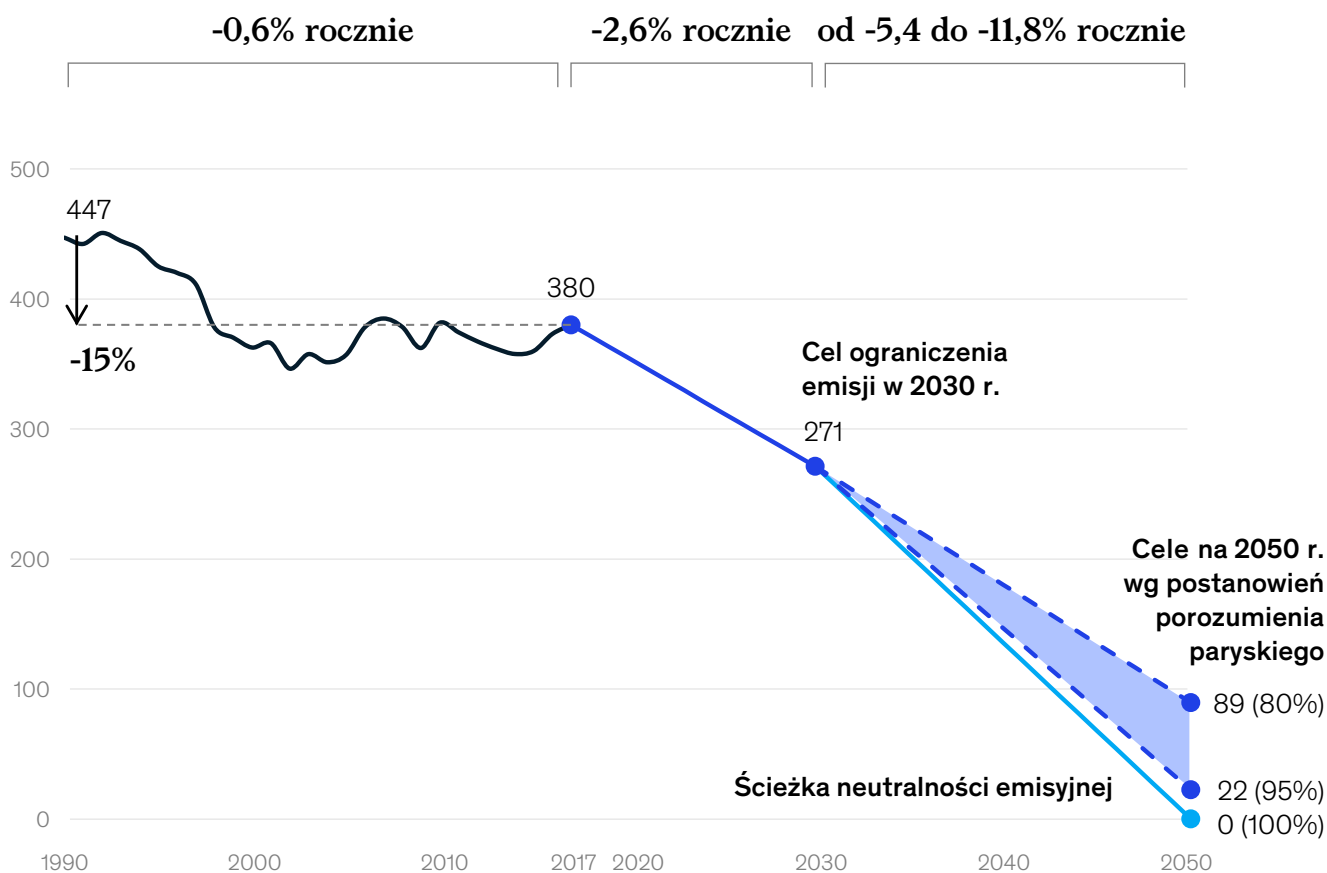
W Polsce i na świecie panuje coraz silniejsze przekonanie, że działania na rzecz ochrony klimatu to dziś konieczność. Przedsiębiorstwa, podejmując bieżące decyzje czy tworząc długoterminowe strategie, coraz częściej biorą pod uwagę kwestie związane ze zrównoważonym rozwojem. Także inwestorzy i instytucje finansowe uwzględniają ryzyka związane z klimatem w procesie decyzyjnym i wiele z nich stara się ograniczyć emisyjność przedsiębiorstw w swoich portfelach. Większa świadomość cechuje również konsumentów – w Polsce już ponad dwie trzecie z nich w procesie zakupowym bierze pod uwagę względy środowiskowe<sup>10</sup>.

Kiedy w 2015 r. podpisano porozumienie paryskie, kraje na całym świecie zobowiązały się ograniczyć

emisje gazów cieplarnianych do 2050 r., tak aby utrzymać wzrost średniej temperatury znacznie poniżej 2°C, mając przy tym ambicję, by było to 1,5°C. Polska ratyfikowała porozumienie w październiku 2016 r.<sup>11</sup>.

Jednak czas na podjęcie działań, które pozwoliłyby ograniczyć wzrost temperatury<sup>12</sup>, właśnie się kończy. W związku z tym kraje Unii Europejskiej, w tym Polska, zaczęły szukać rozwiązań, które należy wprowadzić, aby do 2030 r. w znacznym stopniu ograniczyć poziom emisji, a do 2050 r. osiągnąć neutralność emisyjną w skali całego kontynentu.

Pojęcie neutralności emisyjnej lub też emisji netto gazów cieplarnianych na poziomie zero odnosi się do gospodarki, w której w granicach danego kraju ilość emitowanych gazów

**Poziomy emisji i cele ich obniżenia w Polsce**MtCO<sub>2</sub>e

Źródło: GUS; KASHUE; Eurostat; EIU; KOBIZE 2019 Krajowy Raport Inwentaryzacyjny; IOŚ-PIB, „Klimat dla Polski, Polska dla klimatu”

cieplarnianych nie przewyższa ilości gazów wychwytywanych. W praktyce neutralność emisyjna oznacza, że wszelkie pozostałe, niewychwycone emisje kompensuje się za pomocą emisji ujemnych – na przykład dzięki temu, że lasy pochłaniają dwutlenek węgla z atmosfery. Do realizacji zakładanych przez państwa UE celów mogą przyczynić się nowe inwestycje, technologie i zmiany wprowadzane w miesie energetycznym. Jednak każdy z krajów musi mierzyć się z indywidualnymi wyzwaniami, które wynikają z konkretnych warunków historycznych, gospodarczych i społecznych.

Od kiedy 30 lat temu w Polsce rozpoczęła się transformacja wolnorynkowa, PKB kraju wzrósł niemal trzykrotnie<sup>13</sup>. Wprowadzone reformy pozwoliły na

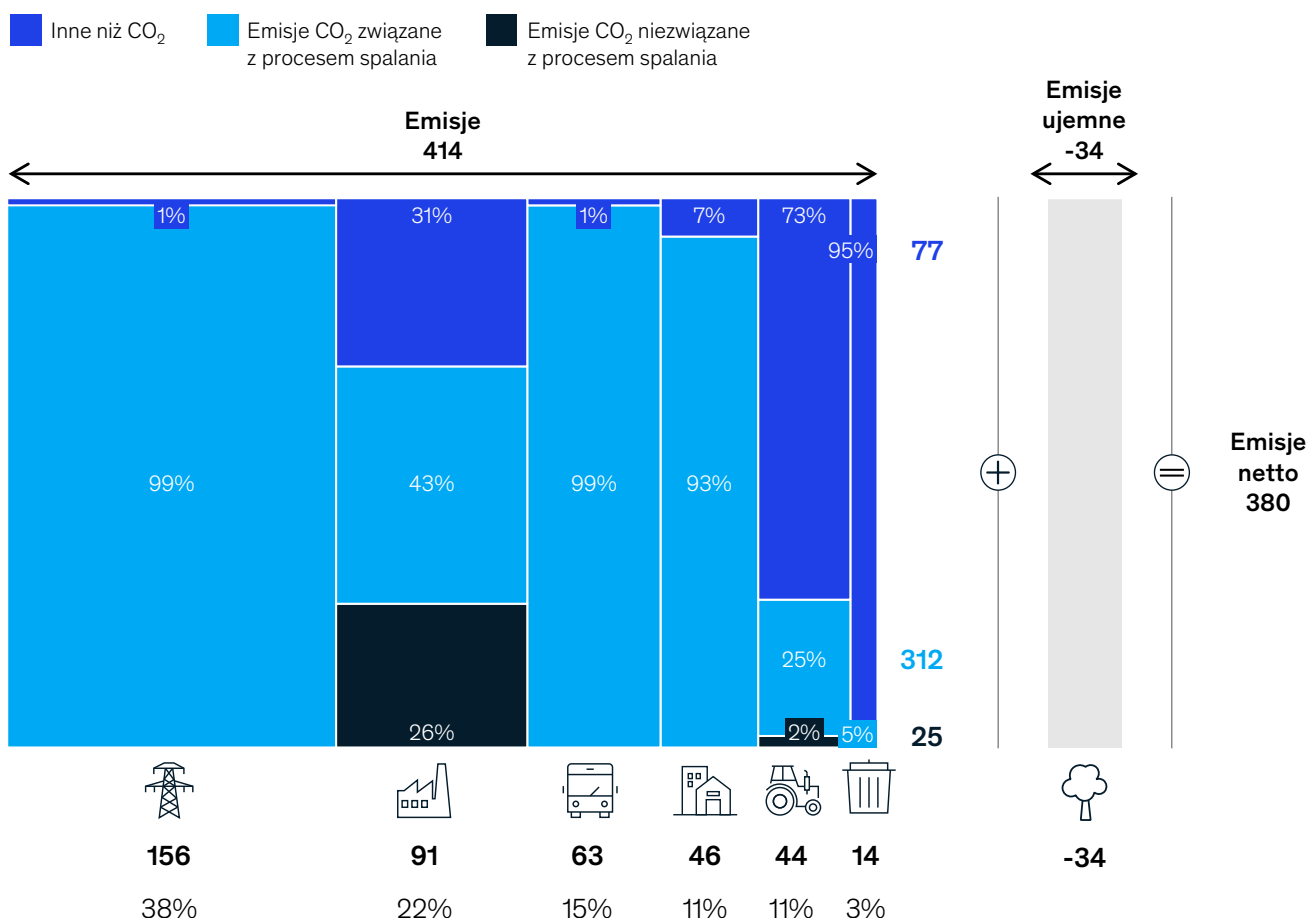
odejście od centralnie planowanej gospodarki opartej na przemyśle na rzecz większego udziału usług. W tym czasie udało się poprawić wydajność energetyczną przemysłu, wzrosło zużycie paliw płynnych, a spadło zużycie paliw węglowych i brunatnych oraz zwiększył się udział energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych (OZE). Wszystkie te zmiany zaowocowały obniżeniem emisji gazów cieplarnianych z 447 MtCO<sub>2</sub>e w 1990 r. do 380 MtCO<sub>2</sub>e w 2017 r. (Rysunek 1)<sup>14</sup>.

Pomimo postępów w 2017 r. Polska znalazła się na trzecim miejscu wśród państw UE pod względem wielkości emisji gazów cieplarnianych w odniesieniu do produktu krajowego brutto (800 g CO<sub>2</sub>e na każde euro PKB). W ujęciu absolutnym w Polsce wygenerowano w 2017 r.

Rysunek 2

## Emisje gazów cieplarnianych w Polsce w 2017 r.

MtCO<sub>2</sub>e



### Energetyka i ciepłownictwo

Sektor energetyki i ciepłownictwa odpowiada za 38% (156 MtCO<sub>2</sub>e) całkowitych emisji – głównie w procesie generowania energii elektrycznej opartym na węglu kamiennym i brunatnym (ok. 82%) oraz zastosowaniu systemów kogeneracyjnych opalanych węglem.



### Budynki

Budynki generują 11% (46 MtCO<sub>2</sub>e) całkowitych emisji, które pochodzą głównie z opalanych węglem lub gazem systemów ogrzewania wody i pomieszczeń w budynkach mieszkalnych i komercyjnych.

Nie uwzględniono potencjalnego ograniczenia:



### Odpady i inne

Odpady i pozostałe kategorie generują 3% (14 MtCO<sub>2</sub>e) całkowitych emisji.



### Przemysł

Sektor przemysłu odpowiada za 22% (91 MtCO<sub>2</sub>e) całkowitych emisji – najczęściej generuje produkcja paliw (36%), minerałów niemetalicznych (22%), środków chemicznych (13%) i stali (9%).



### Rolnictwo

Sektor rolnictwa odpowiada za 11% (44 MtCO<sub>2</sub>e) całkowitych emisji – 45% to emisje inne niż CO<sub>2</sub>, pochodzące głównie z fermentacji jelitowej i gospodarki nawozami, 25% to emisje CO<sub>2</sub> wynikające z procesu generowania energii z wykorzystaniem diesla, 30% ma związek z wapnowaniem i zastosowaniem mocznika.



### Transport

Transport odpowiada za 15% (63 MtCO<sub>2</sub>e) całkowitych emisji – 54% generują pojazdy osobowe, 44% auta ciężarowe i autobusy, pozostałe 2% przypada na lotnictwo, transport morski i kolejowy.



### Emisje ujemne

Poziom ujemnych emisji w Polsce wynosi -34 MtCO<sub>2</sub>e. Większość skompensowanego dwutlenku węgla w ramach użytkowania gruntów i lasów (ang. LULUCF) pochodzi ze wzrostu biomasy w istniejących lasach (-33,6 MtCO<sub>2</sub>e) i zwiększenia obszarów leśnych (-3,3 MtCO<sub>2</sub>e).

414 MtCO<sub>2</sub>e, z czego 34 MtCO<sub>2</sub>e zostało skompensowane dzięki pochłanianiu dwutlenku węgla w ramach użytkowania gruntów, zmiany użytkowania gruntów i lasów (tzw. LULUCF, czyli Land Use, Land-Use Change and Forestry) (Rysunek 2). Emisje w Polsce powstają w ramach pięciu sektorów. Są to: energetyka i ciepłownictwo, przemysł, transport, eksploatacja budynków oraz rolnictwo. Te właśnie obszary wykorzystują w dużej mierze paliwa kopalne.

Aby obniżyć do zera emisje gazów cieplarnianych netto do 2050 r., już w ciągu najbliższej dekady Polska musiałaby czterokrotnie przyspieszyć proces dekarbonizacji gospodarki w porównaniu do tempa z ostatnich 30 lat. W latach 2030-2050 działania należałoby dodatkowo zintensyfikować, co najmniej dwukrotnie.

Pod niektórymi względami Polska jest w korzystnej sytuacji, pozwalającej rozwiązać problem emisji gazów cieplarnianych. Dla przykładu – znaczna część istniejącej infrastruktury energetycznej, bez względu na zmiany klimatyczne, będzie wymagała odnowienia w ciągu najbliższych 20-30 lat. Ponad 50 proc. mocy centralnie dysponowanych jednostek wytwórczych zostanie najprawdopodobniej wycofane do 2035 r.<sup>15</sup>. Jednocześnie ponad trzy czwarte linii wysokiego i średniego napięcia, które stanowią podstawę systemu przesyłowego, ma obecnie ponad 25 lat<sup>16</sup>. Takie realia to szansa, by projektować i budować nową infrastrukturę z myślą o zerowych emisjach. Co więcej, z uwagi na dużą powierzchnię lasów Polska posiada naturalne zasoby pochłaniające dwutlenek węgla (34 MtCO<sub>2</sub>e w 2017 r.)<sup>17</sup>, które można wykorzystać w celu kompensowania emisji generowanych w sektorach, gdzie ich redukcja jest szczególnie trudna, np. w rolnictwie.

Istnieje wiele potencjalnych scenariuszy, które do 2050 r. pozwoliłyby Polsce osiągnąć neutralność klimatyczną. W tym raporcie przedstawiamy ścieżkę minimalizującą koszty transformacji, która skupia się na pięciu sektorach (patrz „Opis metodyki” poniżej).

Przedstawionych w tym scenariuszu propozycji nie należy traktować jako rekomendacji dotyczących kształtowania polityki w kwestiach klimatycznych. Raport stanowi raczej analizę różnych kompromisów, a jego celem jest przedstawienie analiz i wniosków, które mogą być wykorzystane podczas debaty na temat możliwości dekarbonizacji polskiej gospodarki. Przedstawiony w raporcie scenariusz dotyczy lat 2020-2050, czyli kluczowego okresu z punktu widzenia bieżących decyzji inwestycyjnych oraz realizacji celów przyjętych w porozumieniu paryskim. W raporcie określamy, jakie zmiany można wprowadzić w krótkiej, średniej i długiej perspektywie oraz prezentujemy koszty i korzyści związane z każdym z działań. W naszym opracowaniu traktujemy Polskę jako podmiot samodzielny, jednak zdajemy sobie sprawę, że w praktyce wszelkie rozwiązania wymagają optymalizacji i osadzenia w kontekście międzynarodowym. Dla uproszczenia bierzemy pod uwagę wyłącznie technologie, które według bieżącego stanu wiedzy zostały sprawdzone i z dużym prawdopodobieństwem mogą być wykorzystywane w najbliższym czasie. Choć nie ignorujemy ograniczeń dotyczących wykonalności niektórych działań, np. długości życia aktywów infrastrukturalnych, to zdajemy sobie sprawę, że realizacja najbardziej efektywnego kosztowo scenariusza dekarbonizacji oznacza także konieczność pokonania licznych wyzwań o charakterze społecznym i praktycznym.

W kolejnych rozdziałach w pierwszej kolejności określone są potencjalne działania w podziale na pięć sektorów. Następnie przeanalizowane zostały konsekwencje tych zmian w odniesieniu do systemu energetycznego i infrastruktury. W dalszej kolejności opisane są niezbędne inwestycje, jak również ich wpływ na całą gospodarkę oraz poszczególne sektory. Raport zamykają propozycje konkretnych działań w średnim terminie, które mogą okazać się pomocne w budowaniu wartości inwestycyjnej w dłuższej perspektywie.

## Opis metodyki

Celem tego raportu jest nakreślenie realistycznej ścieżki działań mających na celu osiągnięcie przez Polskę neutralności klimatycznej<sup>18</sup> do 2050 r., zakładającej zminimalizowanie całkowitych kosztów takiej transformacji. Model przedstawiony w tym raporcie zakłada, że zaangażowane podmioty podejmują decyzje racjonalne z ekonomicznego punktu widzenia i wybierają technologie obniżające poziom emisji gazów cieplarnianych, jeśli ich całkowity koszt posiadania (TCO) jest niższy niż w przypadku rozwiązań stosowanych wcześniej. W raporcie zostało przyjęte również założenie, że zmiany wymagające dodatkowych nakładów finansowych przeprowadza się tak późno, jak to tylko możliwe, aby zachować poziom redukcji emisji zgodnie z celami pośrednimi.

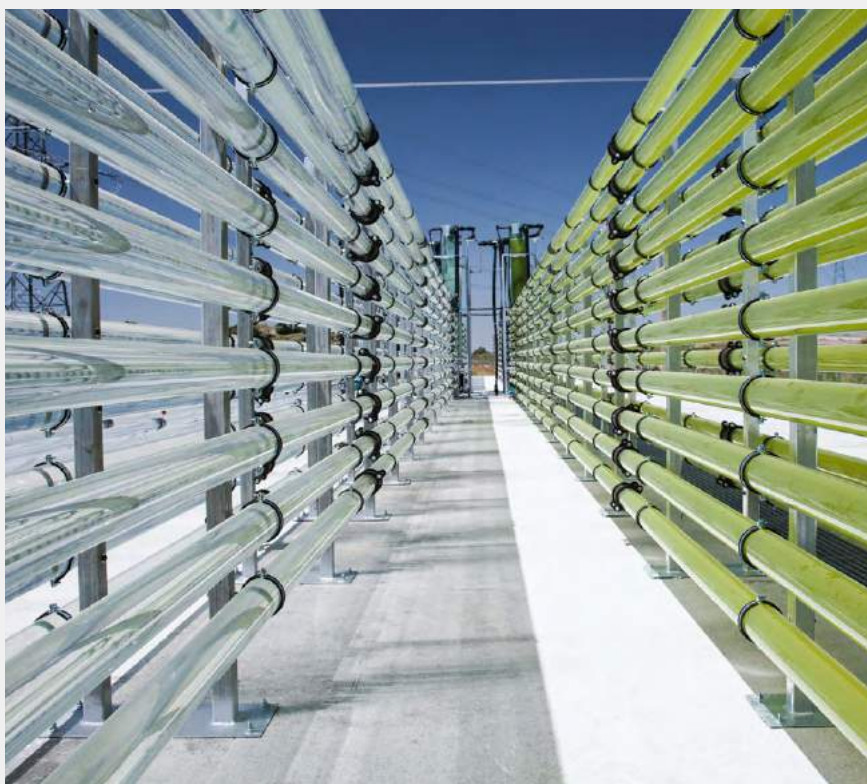
Zakres proponowanych rozwiązań dostosowano do lokalnego kontekstu. Nasz model jest spójny z istniejącymi w Polsce programami i wyznaczonymi celami, a także bierze pod uwagę ograniczenia dotyczące gospodarki

(np. skalowanie łańcuchów dostaw), czynników fizycznych (takich jak dostępność zasobów) oraz technologii (m.in. koszty danego rozwiązania).

W modelu uwzględniliśmy wszystkie główne obszary działalności gospodarczej – od transportu pasażerskiego i produkcji cementu po wytwarzanie energii i ocieplanie budynków. Model bierze pod uwagę istniejące wzorce zachowań. Dalsze zmiany kulturowe dotyczące preferowanych środków transportu (np. transportu publicznego) czy ograniczenie popytu związane z gospodarką o obiegu zamkniętym pozwoliłyby dodatkowo obniżyć koszty dekarbonizacji.

W raporcie wykorzystano możliwie dokładne dane dotyczące potencjalnych kosztów. Mamy jednak świadomość, że wyniki mogą nieznacznie się zmienić wraz ze zmianami poziomu kosztów.

Więcej szczegółów dotyczących metodologii można znaleźć w załączniku.





# Dekarbonizacja gospodarki

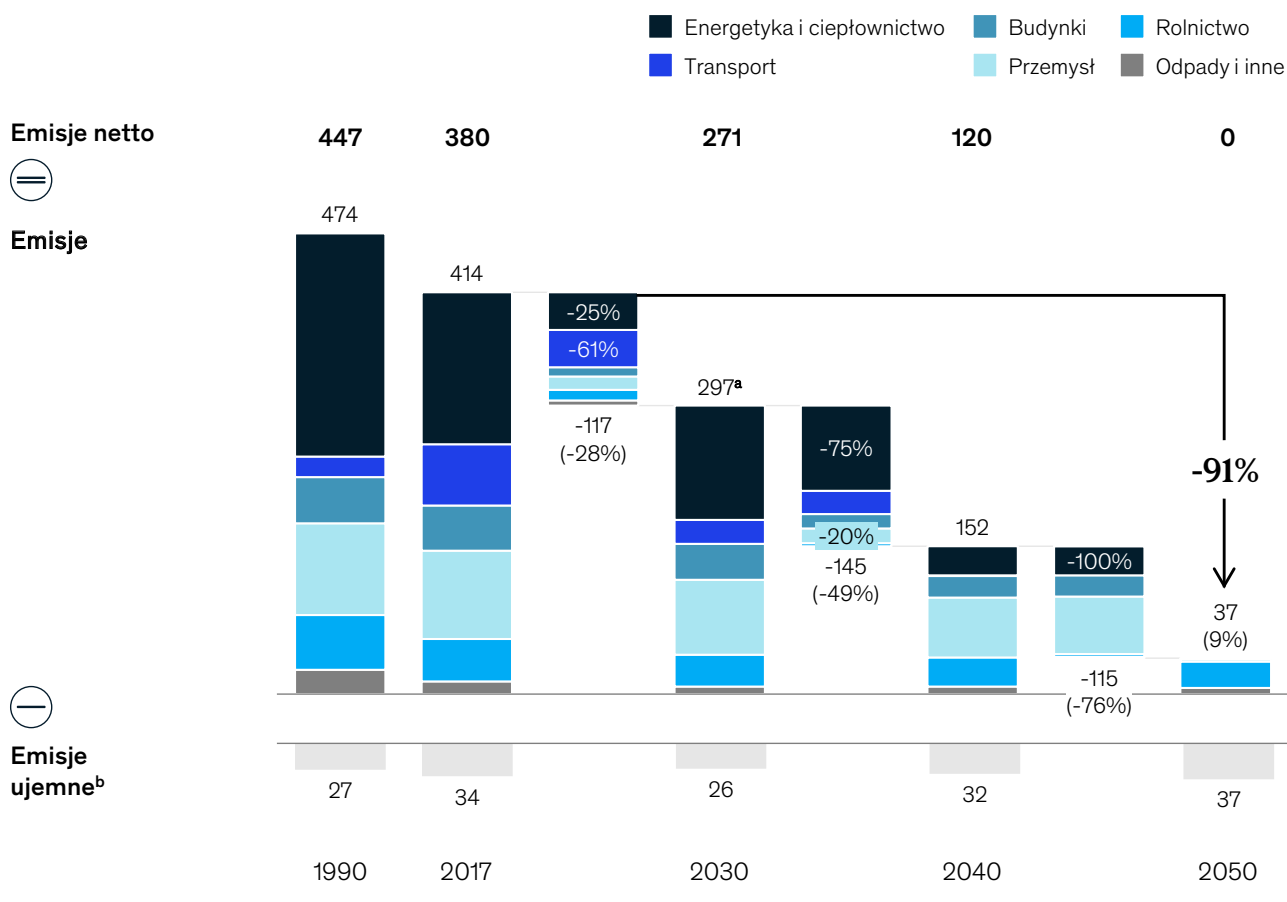
Osiągnięcie przez Polskę neutralności klimatycznej do 2050 r. będzie z pewnością ogromnym wyzwaniem. Aby ten cel został zrealizowany, wszystkie gałęzie gospodarki musiałyby znacznie obniżyć poziom emisji (od 40 do 100 proc. w porównaniu do poziomu z 1990 r.). Dodatkowo potrzebne byłyby także emisje ujemne, które zrekompensują emisje generowane tam, gdzie redukcja ich poziomu jest szczególnie trudna.

## Podsumowanie udziału poszczególnych sektorów w dekarbonizacji

Nasz scenariusz dekarbonizacji zakłada, że emisje byłyby redukowane w sposób ciągły we wszystkich sektorach gospodarki (Rysunek 3). Około 70 proc. działań osiągnęłoby efektywność kosztową do 2050 r. Ich czas realizacji będzie się jednak różnił w zależności od gałęzi gospodarki.

- W naszych analizach zakładamy, że w latach 2017-2030 sektor transportu będzie liderem w procesie obniżania emisji (o 39 MtCO<sub>2</sub>e, tj. 61 proc. mniej w porównaniu z 2017 r.), a w ślad za nim podążać będą energetyka i ciepłownictwo (mniej o 39 MtCO<sub>2</sub>e lub 25 proc.).
- W latach 2030-2040 dekarbonizacja energetyki i ciepłownictwa może przyczynić się do obniżenia emisji o dodatkowe 88 MtCO<sub>2</sub>e (75 proc.). Rozpędu nabierze także proces dekarbonizacji w sektorze przemysłu (15 MtCO<sub>2</sub>e mniej, spadek o 20 proc.).
- Od 2040 do 2050 r. wszystkie sektory – z wyłączeniem rolnictwa – mają szansę osiągnąć neutralność emisyjną. Aby zrekompensować pozostałe 37 MtCO<sub>2</sub>e w 2050 r., konieczne będą emisje ujemne.

## Potencjalny spadek emisji w Polsce do 2050 r. w scenariuszu minimalizującym koszty dekarbonizacji



### Energetyka i ciepłownictwo

Dekarbonizacja w energetyce może postępować stopniowo przez 30 lat dzięki rozwojowi OZE, np. morskich i lądowych farm wiatrowych, czy wykorzystaniu (BE)CCUS



### Przemysł

Proces dekarbonizacji w przemyśle może rozpocząć się stosunkowo późno. Opierałby się na wykorzystaniu paliw i surowców alternatywnych, np. wodoru, biomasy i energii elektrycznej, oraz na wdrożeniu CCUS



### Transport

Dekarbonizacja transportu może rozpocząć się stosunkowo wcześnie, dzięki wprowadzeniu aut z napędem elektrycznym, gdyż w ciągu najbliższej dekady ogólne koszty posiadania większości pojazdów powinny zrównać się z kosztami dla samochodów z napędem spalinowym



### Budynki

W przypadku budynków proces dekarbonizacji rozpocząłby się stosunkowo późno i dotyczyłby głównie: izolacji, rezygnacji z węgla na rzecz energii niskoemisyjnej wykorzystywanej jako źródło ciepła oraz obniżenia emisji sieci ciepłowniczych



### Rolnictwo

Dekarbonizacja w rolnictwie polegałaby głównie na rezygnacji z maszyn zasilanych przez paliwa kopalne na rzecz sprzętu niskoemisyjnego i na ograniczeniu emisji generowanych przez zwierzęta. Obecnie nie istnieje technologia pozwalająca na całkowitą eliminację emisji w tym sektorze



### Emisje ujemne

Emisje ujemne można wygenerować, zwiększając wydajność procesu absorpcji dwutlenku węgla i przeznaczając na ten cel większy obszar (np. zalesianie, agroleśnictwo)

a. Redukcja emisji na taką skalę współgra z celem w zakresie redukcji emisji 2030 określonych przez UE

b. Użytkowanie gruntów, zmiana użytkowania gruntów i leśnictwo. Potencjał pochłaniania dwutlenku węgla w obszarze LULUCF początkowo zmniejsza (tak jak w przypadku kontynuacji tradycyjnego modelu). Jednak po 2030 r. zakładamy liniowy wzrost całkowitego potencjału pochłaniania dwutlenku węgla dzięki wprowadzeniu dodatkowych środków w ramach scenariusza dekarbonizacji motywowanej czynnikami gospodarczymi

Źródło: KOBiZE 2019 Krajowe Raporty Inwentaryzacyjne; Narzędzie McKinsey & Company Decarbonization Pathway Optimizer



Obniżając emisje o 91 proc. względem 2017 r. oraz zwiększając zasoby pochłaniające dwutlenek węgla, by zredukować pozostałe 9 proc. emisji szczególnie trudnych do ograniczenia, Polska jest w stanie osiągnąć neutralność klimatyczną do 2050 r.

### Sposoby dekarbonizacji

Nasze analizy wskazują, że do 2050 r. przeszło 70 proc. działań prowadzących do dekarbonizacji będzie neutralne pod względem kosztów, 20 proc. może być opłacalne, jeśli cena emisji tony dwutlenku węgla osiągnie 100 euro, a pozostałe 10 proc., gdy tona emisji dwutlenku węgla będzie kosztować średnio 150 euro (Rysunek 5)<sup>19</sup>.

Aby do 2050 r. Polska mogła osiągnąć neutralność klimatyczną, konieczne jest podjęcie poważnych działań we wszystkich sektorach gospodarki.

W niniejszym raporcie przyglądamy się kluczowym sposobom obniżenia poziomu emisji w podziale na cztery zakresy tematyczne (Rysunek 4).

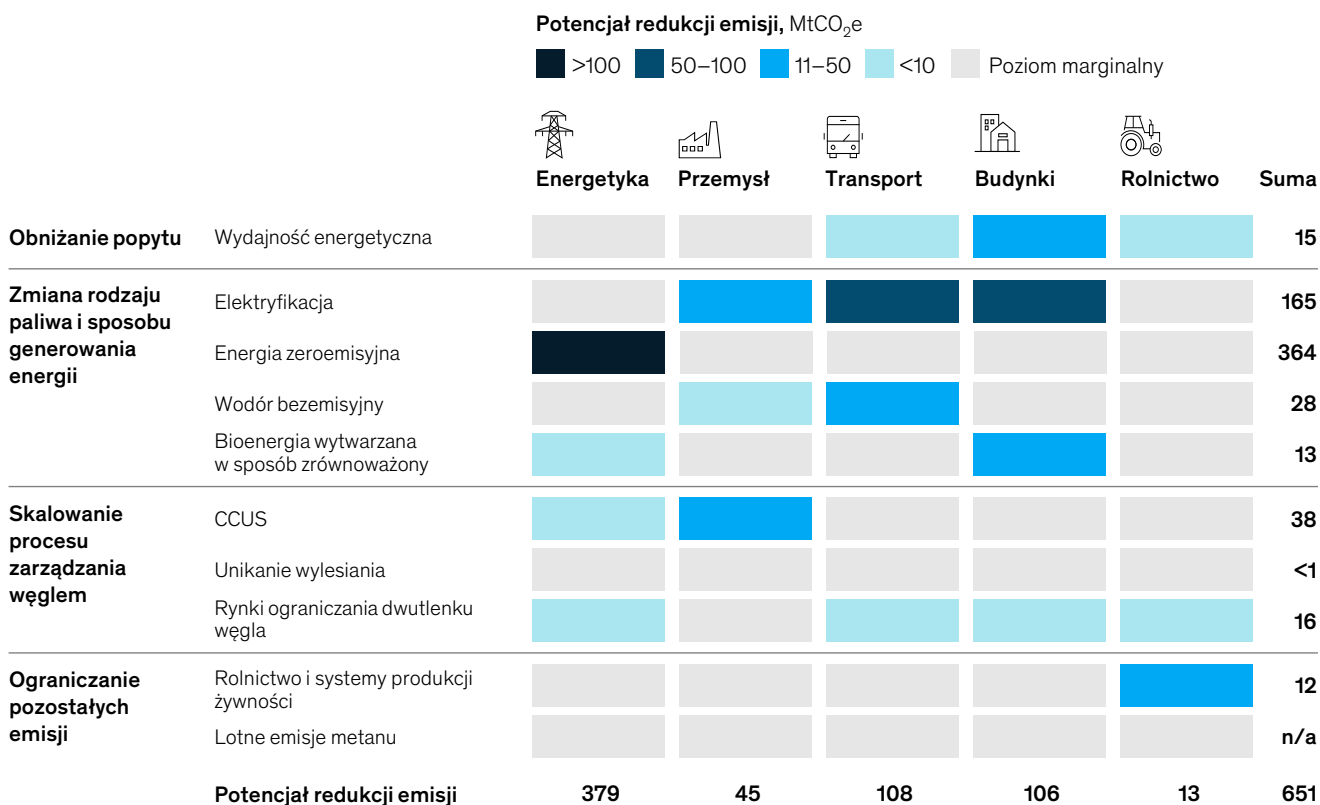
### Zakres 1: Zmiana rodzaju paliwa i energii

**Elektryfikacja** – odejście od technologii i procesów opartych na energii pochodzącej z paliw kopalnych na rzecz tych wykorzystujących energię elektryczną, na przykład poprzez rezygnację z pojazdów z napędem spalinowym (ICE) i wybór pojazdów elektrycznych (BEV) czy też odejście od ogrzewania gazowego na rzecz wykorzystania pomp ciepła.

**Energia bezemisyjna** – rezygnacja z technologii energetycznych opartych na paliwach kopalnych na rzecz źródeł odnawialnych (np. lądowe i morskie farmy wiatrowe czy panele fotowoltaiczne) i energii atomowej.

Rysunek 4

## Główne obszary działań w procesie dekarbonizacji



Uwaga: (BECCUS) w przemyśle ujęto w kategorii CCUS.

Źródło: Narzędzie McKinsey & Company Decarbonization Pathway Optimizer

**Wodór bezemisyjny** – zastąpienie produkcji wodoru z gazu ziemnego procesem elektrolizy zasilanej energią ze źródeł odnawialnych („zielony wodór”) lub produkcja wodoru w połączeniu z wychwytywaniem, wykorzystywaniem i składowaniem dwutlenku węgla („niebieski wodór”). Te alternatywne rozwiązania umożliwiają wykorzystanie wodoru jako czystego paliwa (np. dla pojazdów ciężarowych) lub surowca (np. w procesie produkcji amoniaku).

**Bioenergia wytwarzana w sposób zrównoważony** – odejście od paliw kopalnych na rzecz bioenergii i surowców bezemisyjnych (np. biomasa jako paliwo do pieców cementowych lub proces produkcji bioplastiku na bazie roślin).

### **Zakres 2: Efektywniejsze zarządzanie emisjami**

Wychwytywanie, wykorzystywanie i składowanie dwutlenku węgla (CCUS, ang. Carbon Capture, Utilization and Storage) – wdrożenie tych technologii w celu uniknięcia emisji generowanych w sektorach, w których paliwa kopalne odgrywają kluczową rolę. Zintegrowane technologie tego typu wychwytyują CO<sub>2</sub> i pozwalają na jego ponowne wykorzystanie (np.

jako surowiec w procesie produkcji metanolu) lub składowanie<sup>20</sup>.

**Unikanie wylesiania** – zapobieganie likwidacji obszarów leśnych i ochrona ich funkcji związanej z redukcją emisji, na przykład dzięki odpowiednim regulacjom. Dodatkowe działania obejmują zalesianie gruntów rolnych w celu zwiększenia poziomu emisji ujemnych.

### **Rynek ograniczania dwutlenku węgla**

– wspieranie mechanizmów rynkowych ułatwiających współpracę pomiędzy dostawcami rozwiązań usuwania gazów cieplarnianych i kupującymi (na przykład współpraca dostawców rozwiązań do wychwytywania z przemysłowymi emitentami CO<sub>2</sub>).

### **Zakres 3: Ograniczanie pozostałych emisji gazów cieplarnianych**

Rolnictwo i żywność – wdrożenie w rolnictwie alternatywnych niskoemisyjnych rozwiązań (takich jak uprawa bezorkowa czy niskoemisyjna pasza dla zwierząt).

**Lotne emisje metanu** – minimalizowanie lub eliminacja emisji metanu pochodzących z pokładów węgla.

Emisje te mają 25 razy<sup>21</sup> większy wpływ na efekt cieplarniany (na jednostkę masy) niż dwutlenek węgla. Użycie metod

**Emisje byłyby  
redukowane w sposób  
ciągły we wszystkich  
sektorach gospodarki.  
Okolo 70 proc. działań  
osiągnęłoby efektywność  
kosztową do 2050 r.**



ich wychwytywania i wykorzystywania w procesie produkcji energii.

#### **Zakres 4: Obniżanie popytu na energię**

**Efektywność energetyczna** – wspieranie działań zmierzających do osiągnięcia efektywności energetycznej, takich jak izolacja budynków czy instalacja bardziej wydajnego energetycznie sprzętu, w celu zmniejszenia popytu na energię.

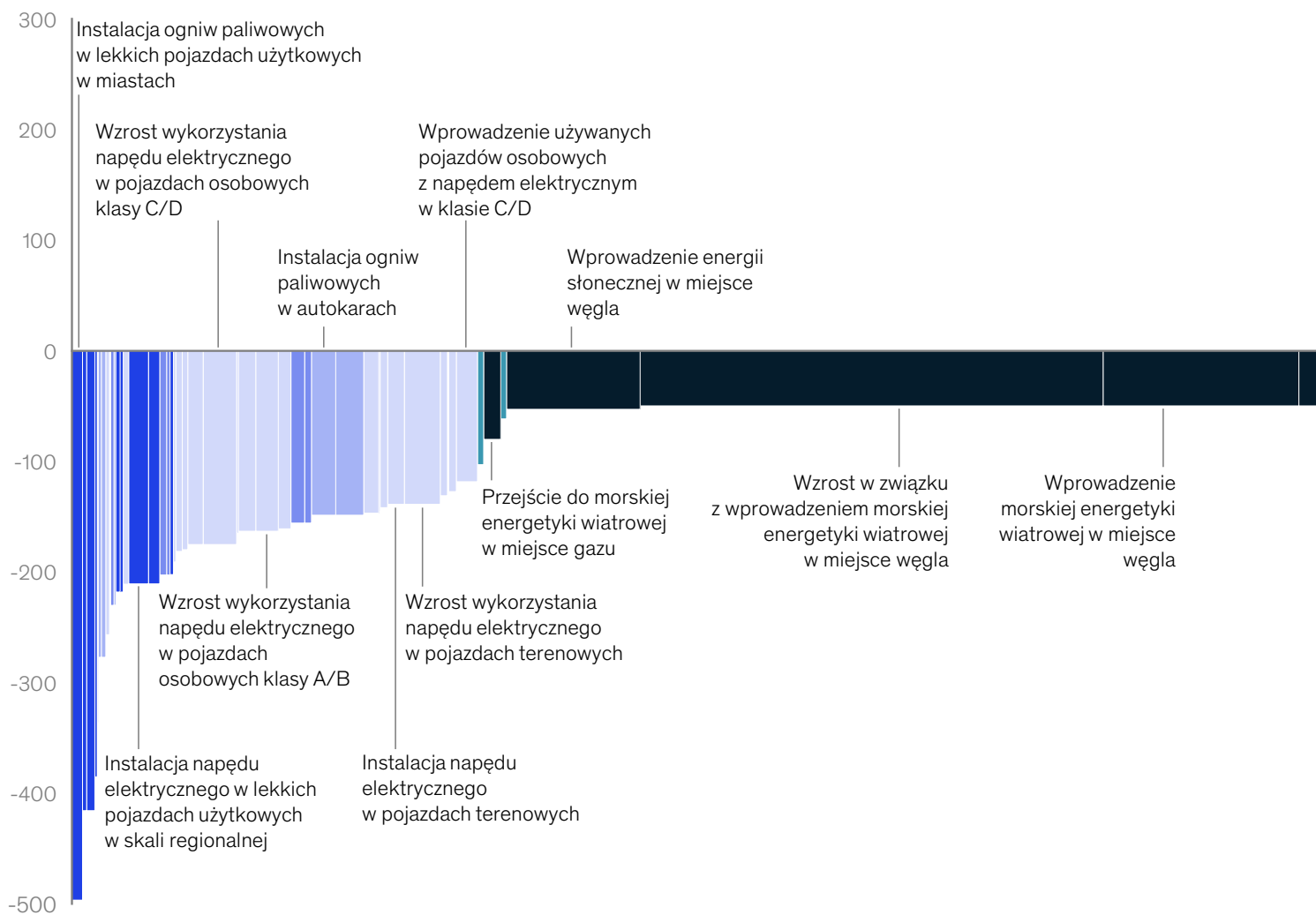
**Gospodarka o obiegu zamkniętym** – bardziej efektywne wykorzystywanie surowców poprzez współdzielenie zasobów, ponowne użycie, naprawianie i przerabianie, stosowanie tych samych surowców w różnych łańcuchach wartości oraz recykling. Produkcja

materiałów z surowców poddanych recyklingowi angażuje zwykle mniej energii i zasobów niż produkcja z surowców oryginalnych (np. zwiększenie stopnia przetwarzania stali spowoduje spadek zapotrzebowania na stal pierwotną). Rozwiązania z obszaru gospodarki o obiegu zamkniętym nie zostały omówione w niniejszym raporcie, jednak bierzemy pod uwagę, że ich wprowadzenie może w znaczny sposób wpłynąć na osiągnięcie założonych celów. Według danych szacunkowych wprowadzenie na szerszą skalę założeń gospodarki cyrkularnej w krajach UE w czterech obszarach – tworzyw sztucznych, stali, aluminium i cementu – spowoduje redukcję emisji CO<sub>2</sub>e nawet o 56 proc.<sup>22</sup>.

## Krzywa kosztów śladowej redukcji emisji w Polsce (bardziej szczegółowe założenia opisano w Załączniku B)

### Średni koszt redukcji emisji do 2050 r.<sup>a</sup>

EUR/tCO<sub>2</sub>e

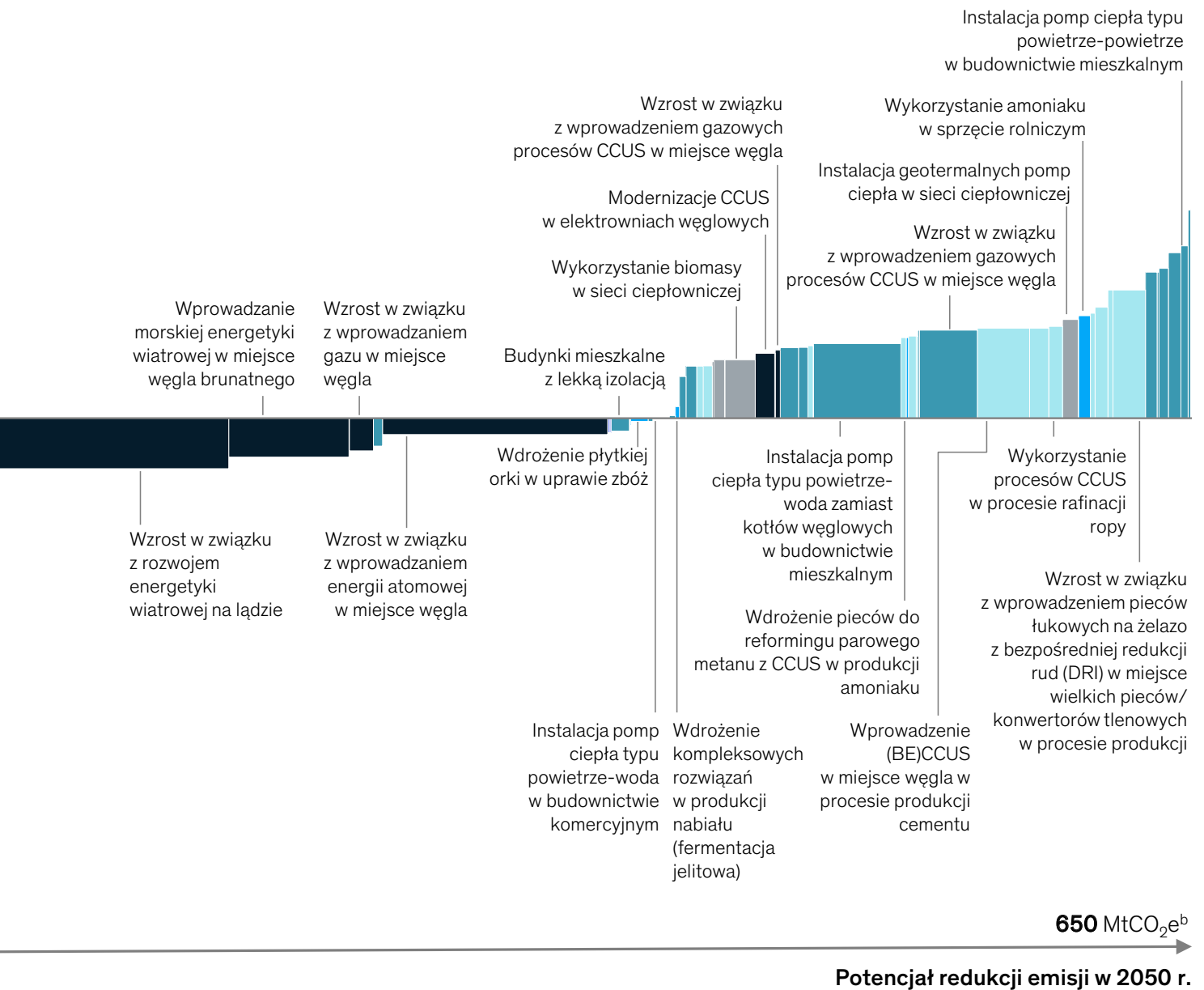


Uwaga: Na osi poziomej zaznaczono potencjał redukcji dwutlenku węgla w przypadku zmian technologii. Oś pionowa pokazuje koszt redukcji dwutlenku węgla w wysokości EUR/tCO<sub>2</sub> dla każdej zmiany technologii

- Wśród rozwiązań nie uwzględniono wykorzystania LULUCF i biopaliw w produkcji energii/ciepła. MACC nie uwzględnia kosztów infrastruktury towarzyszącej (np. sieci stacji do ładowania pojazdów elektrycznych, modernizacji sieci przesyłu i dystrybucji energii)
- Makroekonomiczny model polskiej gospodarki, jaki opracowaliśmy, zakłada spodziewany wzrost działalności gospodarczej, a co za tym idzie wzrost emisji do 2050 r. z aktualnego poziomu 474 MT do 650 MT w przypadku tradycyjnego modelu gospodarki. Dla osiągnięcia pełnej dekarbonizacji należy ograniczyć bieżący i przyszły wzrost emisji

Źródło: Narzędzie McKinsey & Company Decarbonization Pathway Optimizer; Global Energy Perspective; Pion Zrównoważonego Rozwoju McKinsey & Company

Transport	Energetyka i Ciepłownictwo		Inne sektory	
Samochody osobowe	Auta ciężarowe	Sieć ciepłownicza	Przemysł	Rolnictwo
Autobusy/autokary	Vany	Energetyka	Budynki	



## Zmiany wzorców zachowań<sup>23</sup>

Scenariusz dekarbonizacji opisywany w tym raporcie zakłada szereg zmian technologicznych oraz biznesowych, które powinny doprowadzić do redukcji emisji. Podobny lub nawet większy wpływ na ograniczenie emisji mogą mieć też zmiany stylu życia i zachowań konsumentów lub rozwój gospodarki o obiegu zamkniętym.

- Długoterminowe strategie klimatyczne powinny również uwzględniać możliwość zmiany zachowań w sektorach i obszarach, które mają duży wpływ na środowisko i zużycie energii:
- Transport – zmniejszenie śladu węglowego można osiągnąć dzięki rezygnacji lub ograniczeniu korzystania z samochodów, rozwojowi transportu publicznego (koleje, komunikacja miejska), popularyzacji jazdy na rowerze, upowszechnieniu elektrycznych urządzeń transportu osobistego (np. hulajnóg), współdzieleniu czy współużytkowaniu pojazdów, wzrostowi inwestycji w infrastrukturę niskoemisyjną (np. rozbudowa ścieżek rowerowych lub rozwój transportu miejskiego), wprowadzeniu opłat za zatłoczenie czy wjazd do centrum miast.
- Dieta – dominująca w danym społeczeństwie dieta ma duży wpływ na środowisko. Osoba,

w której jadłospisie dominuje mięso, rocznie przyczynia się do emisji ponad dwukrotnie wyższej ilości gazów cieplarnianych niż weganin. Według Organizacji Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa (FAO) hodowla zwierząt przyczynia się do 18 proc. światowej emisji gazów cieplarnianych<sup>24</sup>. Natomiast produkcja roślinna powoduje 20-30 razy mniejsze emisje niż mięsa i nabiału.

- Produkcja i logistyka żywności – wpływ wybieranych przez konsumentów produktów na środowisko należy oceniać z perspektywy całego łańcucha, poczynając od produkcji roślinnej i zwierzęcej, przez przewóz produktów, ich przetwarzanie i przechowywanie, dostarczenie do hurtowni i sklepów detalicznych, zakupy, transport do domu, przetworzenie i przechowywanie w gospodarstwie domowym, aż po odpady żywnościowe. Ważnym elementem jest również marnowanie żywności, zarówno na poziomie produkcji, jak i konsumpcji. Według FAO na świecie co roku ok. 1,3 mld ton żywności jest wyrzucane, co stanowi 1/3 żywności przeznaczonej do spożycia<sup>25</sup>. W Europie Polska pod względem marnotrawstwa żywności zajmuje 5. miejsce.



— Towary i usługi – ważnym czynnikiem w ochronie klimatu może być zmniejszenie zużycia plastiku, regulacje dotyczące gospodarki obiegu zamkniętego i „zero waste”, ograniczanie popytu na nowe produkty, a także korzystanie z rzeczy używanych, takich jak ubrania, elektronika, książki, zabawki, a nawet meble. Tymczasem w Polsce 38 proc. osób przyznaje, że kupuje więcej, niż potrzeba. Znaczna część społeczeństwa deklaruje, że zamiast kupowania nowych produktów naprawia je (45 proc.), wypożycza (34 proc.) albo

wymienia z innymi (32 proc.). Jednak tylko co czwarty widzi potrzebę ograniczania konsumpcji. Przy zakupie żywności czy kosmetyków decydujące znaczenie ma cena, co niestety spycha na dalszy plan wpływ na środowisko jako czynnik decydujący. Najistotniejszym powodem rezygnacji z wyboru zakupu produktu „ekologicznego” także jest cena (dla 72 proc. ankietowanych).<sup>26</sup>

— Mieszkanie – wpływ na środowisko ma również to, gdzie mieszkamy, jakie sprzęty domowe posiadamy, jak korzystamy w domu z prądu i wody oraz w jaki sposób

ogrzewamy miejsca zamieszkania. Więcej na ten temat można przeczytać w raporcie w części poświęconej budynkom.

Moda na zrównoważoną konsumpcję z poszanowaniem zasobów przyrodniczych może odwrócić trendy konsumeryzmu. Wiąże się z tym przede wszystkim wzrost świadomości ekologicznej oraz cała gama coraz popularniejszych zachowań, np. preferowanie produktów lokalnych, regionalnych czy sezonowych, ograniczanie konsumpcji dóbr, nacisk na społeczną odpowiedzialność biznesu.

Tabela

## Porównanie trzech typów osób<sup>27</sup> z Polski z punktu widzenia ich oddziaływania na klimat globalny<sup>28</sup>

Elementy oceny	Osoba nieekologiczna	Osoba przeciętnie ekologiczna	Osoba proekologiczna
<b>Mieszkanie<sup>29</sup></b>	Słabe ocieplenie, 100 m <sup>2</sup> , trzy osoby, 25°C, brak oszczędzania, długie wietrzenie; 0% OZE	Ocieplenie przeciętne, 80 m <sup>2</sup> , trzy osoby, 23°C, częste wietrzenie; 0% OZE	Doskonałe ocieplenie, 60 m <sup>2</sup> , trzy osoby, 19°C, świadome szybkie wietrzenie; 20 % OZE
<b>Ciepła woda<sup>30</sup>, klimatyzacja</b>	7 pryszniców/tydz., 5 kąpieli/tydz., latem klimatyzacja włączona non stop; chłodzenie do 25°C	5 pryszniców/tydz., 2 kąpiele/tydz., klimatyzacja włączona, kiedy upał jest bardzo uciążliwy, wieczorem, w nocy i weekendy do 25°C	7 pryszniców/tydz., klimatyzacja wyjątkowo, tylko wieczorem i nocą do 27°C
<b>Transport prywatny</b>	Samochód duży, terenowy diesel (200 km tygodniowo), sporadycznie druga osoba, klimatyzacja	Samochód średniej wielkości, benzynowy (150 km tygodniowo), czasami druga osoba, klimatyzacja	Rower
<b>Transport publiczny</b>	Taxi 4 razy tygodniowo; podróże lotnicze klasą biznes – 30 godz. lotów krótkodystansowych na rok, 40 godz. długodystansowych na rok	Autobus miejski 100 km/tydz. i tramwaj/metro 50 km/ tydz.; taxi 2 /tydz.; podróże lotnicze klasą ekonomiczną – 18 godz. lotów krótkodystansowych na rok, zostaje 20 godz. lotów długodystansowych na rok	Autobus miejski 30 km/tydz. dalekobieżny 5 km/tydz. i tramwaj/metro 30 km/ tydz.; pociąg podmiejski 20 km/tydz., dalekobieżny 10 km/tydz., loty krótkodystansowe klasą ekonomiczną – 6 godz./rok
<b>Jedzenie</b>	Znaczne ilości, produkty często egzotyczne, niesezonowe, mięso spożywane codziennie, a mrożonki 2-3 razy na tydzień, lodówka klasy A, zamrażarka osobno	Średnia ilość, nie zwraca uwagi na kraj pochodzenia i sezonowość, mięso spożywane 3-6 razy/tydz., mrożonki 2-3 razy/tydz., lodówka klasy A	Niewiele, towary lokalne i sezonowe, bez mięsa, mrożonki 1 raz/tydz., lodówka b. oszczędna
<b>Inna konsumpcja</b>	Brak recyklingu, ubrania nowe i modne, ładnie opakowane rzeczy, nowe i modne gadżety, aktywność „techniczna” np. quady, nie przejmuje się zużyciem prądu, suszarka do bielizny, 0% OZE	Część śmieci trafia do recyklingu, ubrania nowe, jeśli stare, zniszczone, nie zwraca uwagi na opakowanie, rzeczy nowe i używane długo, aktywność to kino i lokale, suszarka do bielizny, stara się nie marnować prądu, 0% OZE	Większość do recyklingu, ubrania zazwyczaj używane, minimalnie opakowane, rzeczy zwykle używane, aktywność na świeżym powietrzu, redukcja zużycia energii, 20 % OZE
<b>Ślad węglowy</b>	<b>57,2 ton CO<sub>2</sub> rocznie</b>	<b>22,6 ton CO<sub>2</sub> rocznie</b>	<b>8,0 ton CO<sub>2</sub> rocznie</b>





# Potencjalne ścieżki dekarbonizacji dla poszczególnych sektorów

Warto przyjrzeć się bliżej, co dla głównych sektorów polskiej gospodarki oznaczać będzie dekarbonizacja oraz jakie wyzwania i szanse pociąga za sobą. Dekarbonizacja energetyki i ciepłownictwa stanowi osobny temat, omówiony w następnym rozdziale, z uwagi na to, że sektor energetyki i ciepłownictwa dostarcza bezemisyjnej energii koniecznej do zmian w pozostałych sektorach.

## Przemysł

### Wyzwania

W 2017 r. przemysł odpowiadał za 22 proc. wszystkich emisji (91 MtCO<sub>2</sub>e) w Polsce. Pochodziły one głównie z procesu produkcji paliw (36 proc.), cementu (22 proc.), chemikaliów (13 proc.) i stali (9 proc.).

Pozostałe 20 proc. emitowały inne gałęzie, w tym produkcja żywności.

W ramach sektora przemysłu, w produkcji cementu, stali, amoniaku i etylenu, 26 proc. emisji CO<sub>2</sub>e pochodzi bezpośrednio z procesu technologicznego, podczas gdy pozostałe – z produkcji energii cieplnej w trzech przedziałach temperatury: niskiej (poniżej 100°C), średniej (100-500 °C) i wysokiej (powyżej 500 °C). W niektórych gałęziach przemysłu, takich jak produkcja cementu, żelaza i stali, ponad 80 proc. energii pochłaniają procesy wykorzystujące ciepło wysokotemperaturowe<sup>31</sup>.

Istnieją cztery powody natury technicznej, które mogą utrudniać redukcję emisji w przemyśle:

# 97%

emisji w przemyśle można obniżyć. W dużej mierze pomoże w tym zastosowanie procesu wychwytywania i składowania dwutlenku węgla na szeroką skalę

- Obniżenie poziomu emisji pochodzących bezpośrednio z procesu technologicznego wymaga zwykle zmian w procesach produkcyjnych, a samo obniżenie zawartości węgla w paliwach nie wystarcza.
- W wielu przypadkach technologia wytwarzania ciepła wysokotemperaturowego w sposób bezemisyjny nie jest komercyjnie dostępna. Dla przykładu, w procesie produkcji cementu, gdzie piece pracują w temperaturze przekraczającej 1400 °C, na rynku nie ma jeszcze alternatywnego rozwiązania zasilanego energią elektryczną.
- Procesy przemysłowe są ze sobą ściśle powiązane, dlatego zmiana tylko jednej składowej często nie jest możliwa.
- Możliwości przeprowadzenia dużych, kapitałochłonnych inwestycji w przebudowę aktywów zdarzają się rzadko, jako że w przypadku zachowania właściwych procesów utrzymania aktywów ich cykl życia jest zwykle dłuższy niż 50 lat.
- Zmiany popytu mogą przyczynić się do zapobiegania emisjom powstałym przy produkcji towarów przemysłowych. Na przykład recykling i redukcja wagi elementów stosowanych w budownictwie mogą przyczynić się do obniżenia zużycia stali, z kolei cement można zastąpić alternatywnymi konstrukcjami z drewna.
- Rozwiązania zwiększające wydajność energetyczną, takie jak urządzenia energooszczędne, mogą przyczynić się do obniżenia zużycia paliw nawet o 20 proc.
- Elektryfikację wytwarzania ciepła można przeprowadzać, instalując piece elektryczne, bojler i pompy ciepła zasilane energią odnawialną.
- Bezemisyjny wodór może zastąpić wodór powstający na drodze reformingu parowego gazu ziemnego (SMR) i stworzyć szansę opracowania nowych procesów wytwarzania stali przy wykorzystaniu żelaza z bezpośredniej redukcji rud (DRI) i elektrycznych pieców łukowych (EAF).
- Biomasa zarówno w formie stałej, jak i płynnej (np. przetworzona w bionaftę) może zastąpić paliwa kopalne oraz surowce.
- W procesie CCUS można wychwytywać i produktywnie wykorzystywać emisje w zakładach przemysłowych.

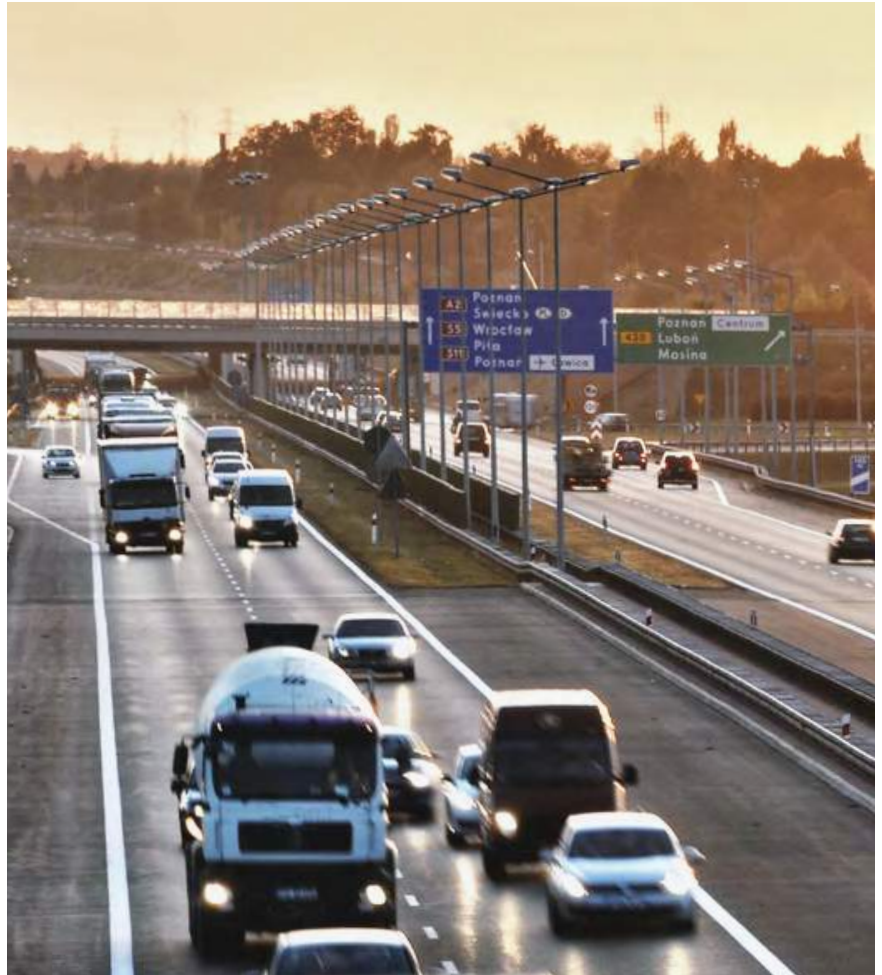
Czynniki gospodarcze potęgują te wyzwania. Wdrażanie drogich, niskoemisyjnych procesów przez niektórych producentów przemysłowych może zostać odebrane jako osłabienie ich przewagi konkurencyjnej względem innych podmiotów rynkowych, które nie zdecydowały się na wprowadzenie podobnych zmian. Wiele produktów wytwarzanych przez polski przemysł to towary konkurujące cenowo na rynkach międzynarodowych, gdzie często to biznes, a nie klienci końcowi, zostaje obciążony zwiększonymi kosztami produkcji.

### **Możliwości w obszarze dekarbonizacji**

Aby w ciągu najbliższych 30 lat znacznie obniżyć poziom emisji generowanych przez przemysł w Polsce, można zastosować sześć rodzajów działań dekarbonizacyjnych.

### **Potencjalna ścieżka dekarbonizacji**

Ustalenie optymalnej ścieżki dekarbonizacji dla konkretnego zakładu przemysłowego zależy w dużym stopniu od warunków lokalnych. Chodzi głównie o dostępność infrastruktury do składowania dwutlenku węgla oraz tanich i bezemisyjnych: energii elektrycznej i wodoru. W ujęciu ogólnym opracowane przez McKinsey prognozy dotyczące kosztów technologii sugerują, że dekarbonizacja przemysłu będzie wymagała rozszerzenia wykorzystania paliw alternatywnych (takich jak wodór, biomasa i energia elektryczna) i zastosowania procesu wychwytywania i składowania



dwutlenku węgla na szeroką skalę. To połączenie rozwiązań może obniżyć emisje w przemyśle o 97 proc., co oznacza spadek o 88,4 MtCO<sub>2</sub>e, przy założeniu, że emisje ujemne uzyskane dzięki technologiom LULUCF skompensują pozostałe 2,6 MtCO<sub>2</sub>e. Koszty wprowadzenia rozwiązań dekarbonizacyjnych, jak wynika z naszych analiz, można szacować średnio na 85 euro za tonę CO<sub>2</sub>e.

- W procesie produkcji cementu i wapna całkowitą rezygnację z węgla mogą umożliwić najnowsze rozwiązania w obszarze produkcji bioenergii z wychwytywaniem, wykorzystaniem i składowaniem dwutlenku węgla ((BE)CCUS), co przełożyłoby się na redukcję 24,8 MtCO<sub>2</sub>e w skali roku. Średnie koszty wprowadzenia tych rozwiązań to 85 euro za tonę CO<sub>2</sub>e.
- W przypadku stali potencjał redukcji może do 2050 r. sięgnąć poziomu

ponad 15,6 MtCO<sub>2</sub>e rocznie. Wynikałoby to z zastosowania paliw alternatywnych, w tym elektryfikacji i wdrożenia procesu produkcji stali opartego na wodorze (DRI+EAF) oraz CCUS. Średnie koszty wprowadzenia tych rozwiązań to 120 euro za tonę CO<sub>2</sub>e.

- W przypadku przemysłu chemicznego do 2050 r. redukcja emisji musiałaby sięgnąć 6,2 MtCO<sub>2</sub>e. 27 proc. z tego można zredukować, dokonując zmian w procesie produkcji etylenu, gdzie pod koniec lat 30. XXI wieku można by wdrożyć CCUS w jednostkach krakingu parowego, zwiększając jednocześnie wydajność energetyczną. Pozostałe 73 proc. redukcji można uzyskać w ramach dekarbonizacji procesu produkcji amoniaku przy wykorzystaniu procesów CCUS z zastosowaniem istniejących i przyszłych możliwości reformingu parowego metanu

oraz bezemisyjnego wodoru. 22 proc. tej ilości amoniaku można wykorzystać przy produkcji mocznika, co oznacza, że biogazy mogą stanowić realną alternatywę dla gazu ziemnego. Średnie koszty wprowadzenia tych rozwiązań to 70 euro na tonę CO<sub>2</sub>e.

- Rafinerie mogłyby obniżyć emisje o 5,2 MtCO<sub>2</sub>e do 2050 r., przy założeniu popytu na naftę i produkty naftowe na poziomie scenariusza odniesienia. Poziom tych emisji może znacznie się zmniejszyć, jeśli skala produkcji zostanie ograniczona, przy założeniu, że trendy dotyczące popytu będą rozwijać się zgodnie z planami ograniczenia do zera emisji gazów cieplarnianych netto w Europie i na świecie. Obniżenie pozostałych emisji będzie możliwe dzięki poprawie efektywności energetycznej oraz zmianom w procesach technologicznych (na przykład elektryfikacja wytwarzania ciepła oraz zastosowanie biomasy lub innych surowców alternatywnych). Aby zredukować pozostałe emisje, od końca lat 30. XXI wieku należałoby rozpocząć wprowadzanie CCUS. Średnie koszty wprowadzenia tych rozwiązań to 90 euro za tonę CO<sub>2</sub>e.
- Obniżenie emisji w pozostałych sektorach przemysłu do 2050 r. musiałoby wynieść 39,1 MtCO<sub>2</sub>e, do czego w dużej mierze może przyczynić się redukcja emisji z górnictwa wraz z malejącym popytem na węgiel, a także zwiększenie efektywności energetycznej oraz dekarbonizacja procesu wytwarzania ciepła w niskim i średnim zakresie temperatur.

### **Konsekwencje dla energetyki**

Aby wspierać wdrażanie przemysłowych rozwiązań dekarbonizacyjnych, należy rozbudować lub odnowić istniejące elementy infrastruktury oraz stworzyć nowe. Infrastruktura wspierająca powinna pomagać w dostępie do biomasy i bioenergii produkowanych w sposób zrównoważony, odpadów,

niskoemisyjnego wodoru, gazu i energii elektrycznej. W przypadku CCUS należy rozpocząć działania pilotażowe, testowanie oraz tworzenie rozwiązań do transportu dwutlenku węgla (np. rurociągi lub transport morski) oraz jego składowania, wykorzystując przy tym uwarunkowania geologiczne Polski (Rysunek 7).

## **Transport**

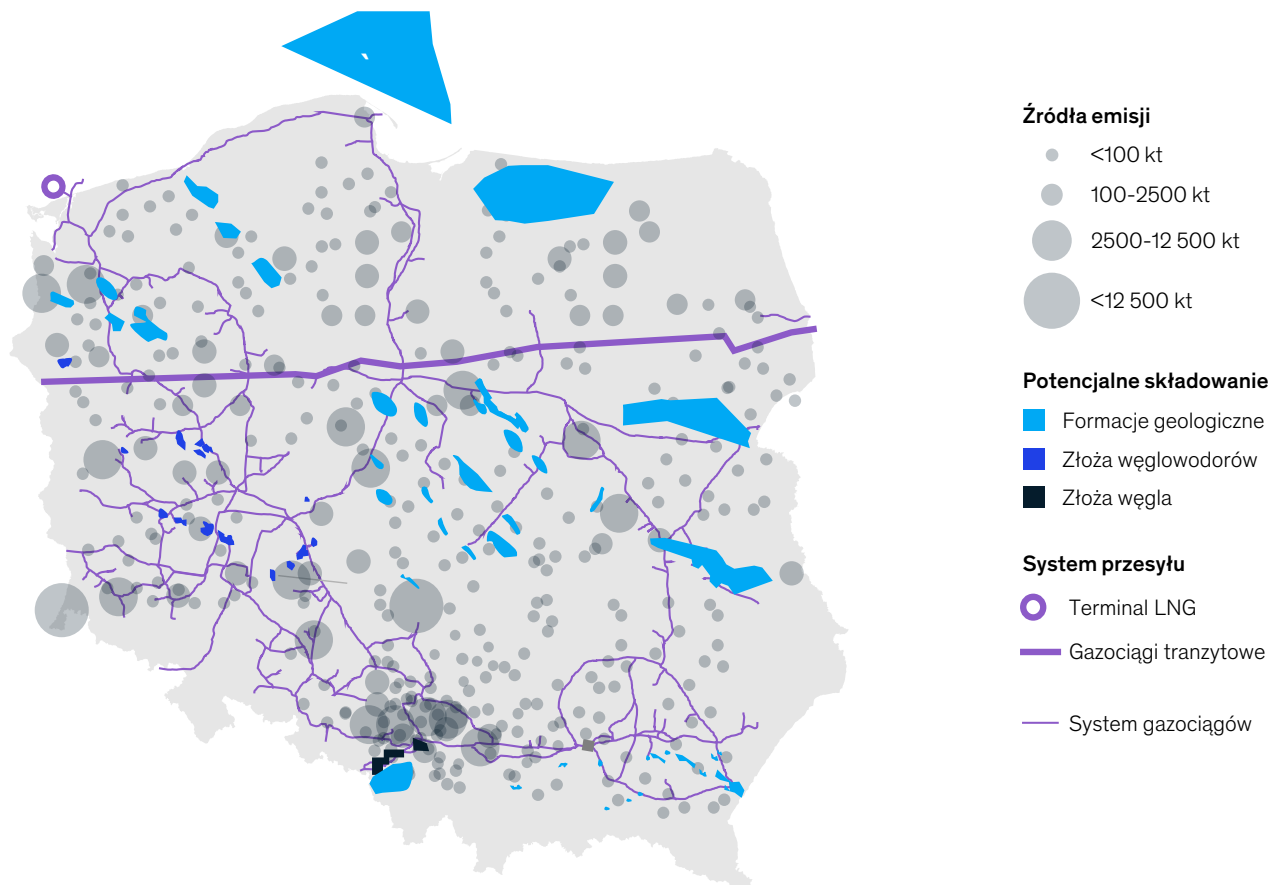
### **Wyzwania**

W 2017 r. sektor transportu w Polsce odpowiadał za emisje 63 MtCO<sub>2</sub>, 98 proc. tych emisji pochodziło z transportu drogowego, zaś pozostałe z kolejowego i lotniczego w obrębie kraju. Pojazdy osobowe generowały aż 53 proc. wszystkich emisji w ramach tego sektora, z kolei samochody ciężarowe i dostawcze odpowiednio 35 i 10 proc. emisji<sup>32</sup>.

Samochody na polskich drogach to niemal wyłącznie pojazdy z napędem spalinowym. Na 38 mln mieszkańców przypada prawie 30 mln pojazdów, co oznacza, że Polska jest jednym z najbardziej zmotoryzowanych krajów w Europie. Jednak prawie dwie trzecie nowo rejestrowanych pojazdów pochodzi z drugiej ręki, co oznacza, że kraj jest największym importem pojazdów używanych w Europie<sup>33</sup>. Głównym wyzwaniem w procesie dekarbonizacji polskiego systemu transportu jest udostępnianie właścicielom pojazdów używanych niedrogich rozwiązań alternatywnych, które zaspokoją ich potrzeby związane z przemieszczaniem się.

### **Możliwości w obszarze dekarbonizacji**

Technologie, które pozwolą obniżyć emisje generowane przez transport i zastąpić obecnie wykorzystywane pojazdy o napędzie spalinowym (ICE), to przede wszystkim pojazdy elektryczne (BEV) oraz ciężarówki i autobusy z napędem wodorowym (np. FCEV, czyli pojazdy elektryczne z ogniwami paliwowymi). Poza tym rosnącą popularnością mogą cieszyć się alternatywy dla tradycyjnego modelu transportu pasażerskiego, np.

Możliwości geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w Polsce
**Szacowany potencjał składowania CO<sub>2</sub> wynosi 15 Gt i składa się z:**

możliwości składowania 14,3 Gt w formacjach geologicznych  
 możliwości składowania 1,0 Gt w złożach węglowodorów  
 możliwości składowania 0,1 Gt w nieeksploatowanych  
 złożach węgla



**To wystarczyłoby, aby  
 składować emisje wytworzone  
 na poziomie roku 2050 przez  
 kolejne 600 lat**

Źródło: Na podstawie „Interaktywnego atlasu prezentującego możliwości geologicznej sekwestracji CO<sub>2</sub> w Polsce”, Państwowy Instytut Geologiczny

współdzielenie pojazdów i rezygnacja z samochodów na rzecz hulajnóg elektrycznych w miastach.

**Potencjalna ścieżka dekarbonizacji**

Z naszych analiz wynika, że osiągnięcie przez Polskę neutralności klimatycznej do 2050 r. wymagałoby niemal całkowitej redukcji emisji generowanych przez sektor transportu (99 proc. redukcji, tj. 62 MtCO<sub>2</sub>e). Choć to bardzo ambitne zadanie, warto pamiętać, że z punktu widzenia użytkownika indywidualnego te zmiany powinny

przynieść znaczne oszczędności, średnio 180 euro za tonę CO<sub>2</sub>e.

Można spodziewać się, że popyt na pojazdy z napędem elektrycznym prawdopodobnie dynamicznie wzrośnie w momencie osiągnięcia parytetu kosztowego względem pojazdów spalinowych. W latach 2020-2030 przewidywane jest ich upowszechnienie, począwszy od segmentu niewielkich samochodów osobowych. Aby kraj mógł zrealizować scenariusz dekarbonizacji, do 2037 r. wszystkie pojazdy osobowe musiałyby mieć już napęd elektryczny.

Upowszechnienie samochodów elektrycznych będzie możliwe dzięki obniżeniu kosztów baterii, których poziom w 2050 r. – jak wynika z naszych szacunków – mógłby spaść poniżej 50 euro/kWh. Mimo tego nakłady inwestycyjne związane z elektryfikacją transportu będą stosunkowo wysokie, gdyż zwiększają koszt modernizacji floty. Według prognoz dotyczących kosztów, w latach 2022-2024 r. całkowity koszt posiadania (TCO) pojazdu osobowego z napędem elektrycznym może spaść poniżej tego kosztu dla pojazdów spalinowych. Jednak wysokie

# 80%

budynków należałoby zmodernizować, żeby obniżyć ich zapotrzebowanie energetyczne i dostosować instalacje do wymagań zeroemisyjnych technologii grzewczych.

koszty zakupu pojazdu elektrycznego w porównaniu ze spalinowym mogą zniechęcać konsumentów do wymiany. Szacujemy, że podobne tendencje będzie można zaobserwować w segmencie pojazdów używanych – zakup pojazdu elektrycznego z drugiej ręki może wiązać się z kosztem o co najmniej 5 tys. euro wyższym od samochodu tradycyjnego. Wyższe koszty wynikają w dużej mierze z konieczności wymiany i regeneracji baterii. Inwestycja zwraca się jednak zwykle w ciągu 10 lat z uwagi na niższe koszty eksploatacyjne (koszt za kilometr w przypadku napędu elektrycznego jest 3-4 razy niższy niż w przypadku spalinowego).

W segmencie pojazdów ciężarowych przewiduje się, że z racji większego zasięgu zasilanie wodorem będzie lepszą kosztowo alternatywą niż ciężarówka z napędem elektrycznym. Dalekobieżne ciężarówki na wodór mogą wejść na rynek jeszcze w tej połowie stulecia. Z naszych szacunków wynika, że do 2050 r. pojazdy elektryczne napędzane ogniwami paliwowymi mogą przyczynić się do redukcji 26 Mt emisji CO<sub>2</sub>e generowanych przez pojazdy ciężarowe.

### Konsekwencje dla energetyki

Aby spadek emisji w transporcie w odpowiedniej skali był możliwy, niezbędne jest zapewnienie infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych w miejscach publicznych, zakładach pracy i domach prywatnych. To jednak nie wszystko. Elektryfikacja transportu spowodowałaby do 2050 r. wzrost rocznego zapotrzebowania na energię elektryczną o 68 TWh. Żeby pojazdy z napędem elektrycznym stały się realną, nieskoemisyjną alternatywą dla pojazdów spalinowych, konieczne jest z jednej strony obniżenie emisji z miks energetycznego, a z drugiej zwiększenie możliwości wytwarzania energii niskoemisyjnej, aby sprostać tym rosnącym potrzebom. Potrzebny jest również cały łańcuch wartości dla wodoru, który umożliwi upowszechnienie pojazdów napędzanych wodorem. W sektorze transportowym popyt

na wodór może rosnąć o 2,1 mln ton w skali roku – to znaczna ilość, biorąc pod uwagę bieżącą skalę rocznej produkcji na poziomie około miliona ton wykorzystywanych w przemyśle<sup>34</sup>. Co więcej, potrzebna jest także dodatkowa infrastruktura do dystrybucji wodoru, w tym rurociągi i sieć stacji paliw.

## Budynki

### Wyzwania

W 2017 r. obiekty budowlane w Polsce wygenerowały 70 MtCO<sub>2</sub>e emisji, z czego 84 proc. pochodziło z sektora mieszkaniowego, a 16 proc. z komercyjnego. Dwie trzecie emisji, tj. 46 Mt, powstało na skutek ogrzewania pomieszczeń i podgrzewania wody w 13 mln gospodarstw domowych i powierzchni 400 mln metrów kwadratowych obiektów komercyjnych. 61 proc. stanowią emisje generowane przez piece opalane węglem, które często używane są w gospodarstwach domowych<sup>35</sup>.

Pozostała jedna trzecia emisji pochodzi z ciepłownictwa (24 MtCO<sub>2</sub>e), z czego 35 proc. pochodzi z węgla. Polska posiada jeden z największych na świecie systemów, na który składa się przeszło 20 tys. km sieci sieplowniczej. Mieszkania i obiekty komercyjne korzystają w dużej mierze z tego źródła ciepła, a domy ogrzewane są zwykle za pomocą bojlerów na węgiel lub gaz<sup>36</sup>.

Nieruchomości w Polsce różnią się od siebie pod względem wydajności energetycznej – prawie połowa budynków została zbudowana przed 1970 r. i charakteryzuje się stosunkowo dużym średnim zapotrzebowaniem na ciepło na poziomie ok. 270 kWh na metr kwadratowy w skali roku<sup>37</sup>. Dla porównania – nowo budowane obiekty są trzy razy bardziej wydajne energetycznie.

### Możliwości w obszarze dekarbonizacji

Emisje związane z budynkami można obniżyć w dwojaki sposób. Po pierwsze, można zwiększyć wydajność energetyczną obiektów budowlanych dzięki termomodernizacji, co pozwala zmniejszyć zużycie opału. Rozwiązania

tego typu można zastosować w najmniej wydajnych rodzajach budynków (np. w obiektach, w których roczne zapotrzebowanie na ciepło przekracza 200 kWh na metr kwadratowy) i dodatkowo skupić się na elementach konstrukcji, które posiadają najmniejszą warstwę izolacyjną w danym budynku, np. strychu, ścianach, oknach czy podłogach.

Po drugie, można ograniczyć wykorzystanie wysokoemisyjnych źródeł energii, zastępując bojlerami i piecami opalane węglem, gazem lub olejem opałowym, urządzeniami zasilanymi z niskoemisyjnych źródeł alternatywnych. Wśród takich rozwiązań można wymienić:

- **Biomasę wytwarzaną w sposób zrównoważony**, wykorzystywaną jako paliwo do boilerów. Pellet drzewny najlepiej sprawdza się w przypadku domów, które z racji dostępnej przestrzeni mogą być wyposażone w większe bojlerki opalane drewnem.
- **Elektryfikację wytwarzania ciepła** dzięki upowszechnieniu pieców elektrycznych (lub kotłów) oraz różnego rodzaju pomp ciepła.

Wybór optymalnych technologii zależy w dużej mierze od rodzaju budynku (wielorodzinny lub dom wolnostojący), gęstości sąsiedniej zabudowy, wielkości powierzchni w budynku, gdzie można zainstalować urządzenia, odległości od źródła gazu ziemnego lub energii, gotowości właściciela do przeprowadzania prac modernizacyjnych, a także wydajności energetycznej obiektu.

### **Potencjalna ścieżka dekarbonizacji**

Z naszych analiz wynika, że aby osiągnąć zakładane cele związane z dekarbonizacją, do 2050 r. sektor budowlany musiałby zredukować emisję o 46 MtCO<sub>2</sub>e, z czego ponad połowę należałoby obniżyć już do 2040 r. Koszty mogłyby średnio sięgnąć 70 euro na tonę CO<sub>2</sub>e. Choć proces modernizacji budynków jest długotrwały, już w ciągu najbliższych kilku lat można znacznie poprawić wydajność energetyczną obiektów i równocześnie zastępować systemy

kogeneracyjne starszego typu rozwiązaniami niskoemisyjnymi.

Aby osiągnąć cele dotyczące emisji do 2050 r., należałoby przeprowadzić modernizację 80 proc. budynków, obniżając ich zapotrzebowanie energetyczne i dostosowując instalacje do wymagań zeroemisyjnych technologii grzewczych. W bliższej perspektywie konieczna będzie podstawowa bądź kompleksowa termomodernizacja obiektów komercyjnych, domów i budynków mieszkalnych, która obniży zapotrzebowanie energetyczne o odpowiednio 25 lub 50 proc.

Zastąpienie węgla i gazu innymi paliwami – zarówno w systemach grzewczych konkretnych obiektów, jak i w sieci ciepłowniczej – może przyczynić się do obniżenia emisyjności tego sektora. Instalacja kotłów na pellet może stanowić rozwiązanie przejściowe, zanim upowszechnią się pompy ciepła. W przypadku domów i obiektów komercyjnych w latach 30. XXI wieku powinna rozpocząć się instalacja pomp ciepła typu powietrze-woda, a pod koniec lat 40. należałoby całkiem zrezygnować z kotłów na gaz ziemny. Jednak z szacunków dotyczących kosztów rozwiązań grzewczych wynika, że piece i kotły węglowe pozostaną pod tym względem atrakcyjnym rozwiązaniem, co będzie zniechęcać właścicieli domów do stosowania rozwiązań bezemisyjnych.

Proces obniżania emisyjności sieci ciepłowniczej wymagać będzie wdrożenia rozwiązań wykorzystujących w dwóch trzecich kogenerację z biomasy i odpadów, a w jednej trzeciej – geotermalne pompy ciepła. Co więcej, wraz z postępującym spadkiem zapotrzebowania energetycznego na metr kwadratowy w budynkach warto będzie rozważyć także możliwość wykorzystania niskotemperaturowej sieci ciepłowniczej (poniżej 50°C).

Nasze analizy wskazują, że obniżając emisyjność budynków, można zastosować wiele rodzajów pomp ciepła. To, które rozwiązanie będzie optymalne dla konkretnego budynku, zależy jednak od wielu czynników, m.in.



zapotrzebowania na ciepło, istniejącej izolacji, infrastruktury zaopatrującej w gaz ziemny i energię elektryczną, a także dostępu do źródeł energii.

### **Konsekwencje dla energetyki**

Poprawa izolacji budynków, instalacja pomp ciepła i zwiększanie skali zastosowania biomasy będą miały konsekwencje dla energetyki. Choć z biegiem czasu całkowite zapotrzebowanie na energię z różnych źródeł w budynkach powinno sukcesywnie maleć ze względu na instalację bardziej wydajnych technologii, to zapotrzebowanie na energię elektryczną zapewne wzrośnie z dwóch powodów. Po pierwsze, elektryfikacja procesu wytwarzania ciepła w budynkach i rezygnacja z systemów kogeneracyjnych na rzecz biomasy i pomp ciepła oznaczają, że moce produkcyjne systemów kogeneracyjnych trzeba będzie zastąpić alternatywnymi rozwiązaniami wytwarzania energii. Po drugie, aby dokonać tych zmian, potrzebna będzie produkcja dodatkowej niskoemisyjnej energii, a także rozbudowa sieci i poprawa infrastruktury energetycznej budynków.

Aby w szybkim tempie przeprowadzić instalacje urządzeń i prace modernizacyjne obniżające poziom emisji, należy rozbudować łańcuch wartości obejmujący dostawców, instalatorów czy usługi logistyczne.

Zwiększanie skali wykorzystania rozwiązań opartych na biomase, takich jak kotły na pellet drzewny czy biogaz, zależy w dużej mierze od dostępności biomasy, magazynów i sieci dystrybucyjnej, a także sprawnej logistyki, które umożliwiają ponowne wykorzystanie odpadów jako paliwa w ramach istniejących systemów kogeneracyjnych.

## **Rolnictwo**

### **Wyzwania**

W 2017 r. rolnictwo było odpowiedzialne za emisję 44 MtCO<sub>2</sub>e, z czego 75 proc. pochodziło z metanu i tlenu azotu, powstałych głównie w związku z wykorzystaniem nieorganicznych nawozów sztucznych, uprawą roli oraz w procesie fermentacji jelitowej u bydła mlecznego i mięsnego. Pozostałe 25 proc. to dwutlenek węgla generowany głównie przez maszyny rolnicze<sup>38</sup>.

Wprowadzanie rozwiązań obniżających emisje na odpowiednią skalę nie jest łatwe, m.in. ze względu na charakterystyczne dla polskiego rolnictwa rozdrobnienie – ok. 750 tys. gospodarstw, 53 proc. zajmuje mniej niż pięć hektarów<sup>39</sup>.

### **Możliwości w obszarze dekarbonizacji**

Emisje w rolnictwie można obniżyć w trzech głównych kategoriach.

- **Użytkowanie gruntów.** Poziom emisji można obniżyć, optymalizując nawożenie i ograniczając orkę. Pierwsze rozwiązanie oznacza zastąpienie nawozów syntetycznych nawozami niskoemisyjnymi (np. o spowolnionym działaniu) lub stabilizatorami azotu (np. inhibitory nitryfikacji). W ten sposób – obniżając wymaganą ilość azotu – można zredukować emisje tlenu azotu.
- **Paliwa do maszyn rolniczych.** Poziom emisji można obniżyć, stosując odpowiednie paliwa (np. domieszka amoniaku do diesla), a także wprowadzając sprzęt z napędem elektrycznym.
- **Fermentacja jelitowa.** Fermentacja jelitowa to naturalne zjawisko



# 40%

emisji rolnych trzeba by obniżyć do 2050 r.

zachodzące w ramach procesów trawiennych u przeżuwaczy (w tym krów), w ramach którego powstaje metan. Obecnie istnieje niewiele skutecznych rozwiązań w tym zakresie, a te, które są opracowywane, dają nadzieję jedynie na niewielki spadek. Jedno z proponowanych rozwiązań zakłada na przykład wprowadzenie dodatków do pasz i zmiany w żywieniu, które poprawią procesy trawienne i zmniejszą poziom emisji metanu. Inna opcja to hodowla głównie tych ras, które emitują mniej metanu w procesie trawienia, a także lepsze monitorowanie stanu zdrowia zwierząt<sup>40</sup>. Konieczne są jednak dalsze badania w tym kierunku, włącznie z oceną wpływu na zwierzęta.

### Potencjalna ścieżka dekarbonizacji

Do 2050 r. emisje z produkcji rolnej mogłyby zostać obniżone o 5 proc. (z 44 MtCO<sub>2</sub>e do 42MtCO<sub>2</sub>e w 2017 r.) ze względu na spadek pogłowia bydła mlecznego oraz zmniejszenie powierzchni upraw. Aby dekarbonizacja polskiej gospodarki była możliwa do 2050 r., emisje rolne trzeba by dodatkowo obniżyć o 39 proc. Byłoby to możliwe dzięki zastosowaniu rozwiązań niskoemisyjnych w gospodarce gruntowej (spadek o 24 proc.), odejściu od tradycyjnych paliw w maszynach rolniczych (10 proc.) oraz ograniczeniu fermentacji jelitowej (5 proc.).

Nawet po zastosowaniu wszystkich wyżej wymienionych środków emisje w sektorze rolnictwa wciąż zapewne nie spadną do zera: w naszym scenariuszu zakładamy, że w 2050 r. rolnictwo będzie wciąż generować 25 MtCO<sub>2</sub>e.

Poza opisanymi dotychczas działaniami do spadku emisji w rolnictwie mogą przyczynić się dwa czynniki. Pierwszy to trend związany ze zmianą nawyków żywieniowych, w tym zastępowanie białka zwierzęcego roślinnym, co może spowodować spadek produkcji mięsa i obniżenie związanych z nią emisji. Drugi czynnik to upowszechnienie technologii pozwalających na wychwytywanie emisji w innych sektorach

(np. (BE)CCUS w przemyśle, energetyce i ciepłownictwie). Te rozwiązania wraz z wykorzystaniem możliwości, jakie dają tzw. pochłaniacze dwutlenku węgla (ang. carbon sinks), czyli głównie duże połacie leśne, mogłyby kompensować pozostałe emisje w rolnictwie.

### Konsekwencje dla energetyki

Zwiększenie produktywności i długofalowych korzyści płynących z wydatków operacyjnych na rozwiązania niskoemisyjne będzie wymagało zaangażowania szerokiego grona ekspertów ds. rolnictwa oraz wymiany najlepszych praktyk w środowisku.

Z kolei odejście od paliw kopalnych na rzecz rozwiązań niskoemisyjnych będzie wymagało inwestowania w nowy sprzęt oraz dostępności alternatywnych źródeł energii, z naciskiem na energię elektryczną i wykorzystanie amoniaku jako domieszki do diesla.

## Pochłanianie emisji

### Wyzwania

Obniżanie emisji gazów cieplarnianych to główny obszar działań podejmowanych w celu zmniejszania efektów globalnego ocieplenia. Jednak olbrzymią rolę na drodze do neutralności klimatycznej odegra również pochłanianie emisji. Pozwala ono kompensować te zanieczyszczenia, których najtrudniej uniknąć. Obecnie w Polsce pochłaniacze dwutlenku węgla redukują emisje o około 34 MtCO<sub>2</sub>e<sup>41</sup>. Jednak szacuje się, że do 2050 r. liczba ta zmaleje do 10 MtCO<sub>2</sub>e w związku ze starzeniem się lasów (patrz ramka).

Choć teoretycznie potencjał różnych technologii pochłaniania dwutlenku węgla jest znaczny, realny poziom negatywnych emisji, który zostanie osiągnięty, stoi pod znakiem zapytania, jako że żaden z dostępnych obecnie modeli nie jest w stanie precyzyjnie przewidzieć wpływu złożonych ekosystemów.

### Możliwości w obszarze dekarbonizacji

Rozwiązania w zakresie pochłaniania dwutlenku węgla można podzielić na naturalne i technologiczne. Aby

osiągnąć zakładany poziom kompensacji, konieczne będzie wyznaczenie jasnych celów redukcji oraz przygotowanie zachęt do zastosowania tych rozwiązań.

### Rozwiązania naturalne

Każde z rozwiązań naturalnych różni się pod względem intensywności pochłaniania dwutlenku węgla na hektar oraz powierzchnią gruntu konieczną, by daną metodę zastosować.

- **Rozszerzanie obszaru objętego gospodarką leśną** w całym kraju pozwoliłoby potencjalnie do 2050 r. zwiększyć pochłanianie na maksymalnie 1 mln hektarów.
- **Zalesienie 600 tys. hektarów gruntów rolnych o niskiej jakości (V lub VI klasy)<sup>42</sup>**. Aby ten proces odbywał się w odpowiedniej skali i tempie, warte rozważenia mogą okazać się dodatkowe zachęty dla prywatnych właścicieli gruntów.
- **Efektywne zarządzanie użytkowaniem gruntów** łączące rolnictwo i leśnictwo (agroleśnictwo). To podejście zakłada sadzenie drzew na gruntach uprawnych w stopniu, który nie uszczupla plonów (na przykład wiatrolomy, uprawa współrzędna alejowa, zarządzana przez rolników naturalna regeneracja lasów). Szacuje się, że w całym kraju 129,6 tys. hektarów gruntów, które stają w obliczu różnych wyzwań dotyczących środowiska naturalnego (np. erozja gleby i niska jakość wody), mogłyby skorzystać z praktyk agroleśnictwa.
- **Przywrócenie terenów podmokłych**, które zostały osuszone i były wykorzystywane jako grunty rolne.

Z szacunków wynika, że możliwe jest przywrócenie ok. 132 tys. hektarów takich gruntów. Ten proces wymagałby jednak zarówno odpowiednich środków finansowych, jak i regulacji, gdyż obszar, który kiedyś był terenem podmokłym, może dziś należeć do kilku różnych właścicieli.

### Rozwiązania technologiczne

Poniższe rozwiązania technologiczne mogą zostać zastosowane w celu wsparcia rozwiązań naturalnych.

- **Wdrożenie bioenergii z wychwytywaniem, wykorzystaniem i składowaniem dwutlenku węgla (BE)CCUS**. W ramach procesu produkcji bioenergii z wychwytywaniem i składowaniem dwutlenku węgla wyemitowany podczas produkcji energii z biomasy dwutlenek węgla (np. w sektorach produkujących cement lub wapno) zostaje wychwycony i uwięziony pod ziemią, zamiast trafiać do atmosfery.
- **Przerabianie biomasy i odpadów** na drodze pirolizy w stabilne produkty biowęglowe. Teoretycznie biowęgiel posiada najwyższy potencjał składowania dwutlenku węgla, jako że można stosować go na wszystkich ziemiach uprawnych. Produkty te można następnie zaorać, aby użyźnić glebę, zwiększyć ich stabilność i móc składować dwutlenek węgla.
- **Wdrożenie technologii bezpośredniego wychwytywania dwutlenku węgla z powietrza (DAC, ang. Direct Air Capture)**. Ponieważ stężenie

dwutlenku węgla w atmosferze jest znacznie niższe niż w spalinach pochodzących z przemysłu, energetyki czy ciepłownictwa, proces wychwytywania dwutlenku węgla w ramach DAC jest zwykle bardzo energochłonny, a co za tym idzie kosztowny. Dlatego technologia ta w obecnym kształcie byłaby zapewne wykorzystana dopiero na ostatnim etapie kompensacji emisji, które najtrudniej zredukować.

### Potencjalna ścieżka dekarbonizacji

Z naszych analiz wynika, że w 2050 r. w Polsce pozostałe 37 MtCO<sub>2</sub>e emisji – by osiągnąć neutralność – trzeba będzie skompensować.

Biorąc pod uwagę bieżące prognozy kosztów, można zakładać, że w 2050 r. rozwiązania naturalne pozwolą na redukcję 23 MtCO<sub>2</sub>e. Istniejące obecnie obszary leśne mogłyby pochłaniać dodatkowo co najmniej 10 MtCO<sub>2</sub>e. Żeby jednak zrekomensować pozostałe 14 MtCO<sub>2</sub>e emisji, niezbędne będą rozwiązania technologiczne.

### Konsekwencje dla energetyki

Rozwiązania technologiczne zwykle charakteryzują się wysoką energochłonnością. Już samo wdrożenie rozwiązań takich jak (BE)CCUS czy DAC będzie wymagało zwiększonej produkcji niskoemisyjnej energii na dużą skalę.

Co więcej, zwiększanie skali wykorzystania (BE)CCUS będzie zależne od utworzenia łańcucha dostaw bioenergii, w tym dostępności biomasy, magazynów i sieci dystrybucyjnej. Konieczne będzie także zbudowanie odpowiedniej infrastruktury oraz technologii CCUS.

## Obniżanie emisji gazów cieplarnianych to główny obszar działań podejmowanych w celu zmniejszania efektów globalnego ocieplenia

## Pochłaniacze dwutlenku węgla i ich potencjał w Polsce

Pochłaniacz dwutlenku węgla to ekosystem (np. las czy ocean) lub technologia, która posiada zdolność wchłaniania na stałe dwutlenku węgla z atmosfery. Stanowi różnicę między przyrostem biomasy a jej utratą. Dla przykładu – kiedy drzewa osiągną dojrzałość, ich wzrost spowalnia, z roku na rok mogą pochłaniać mniej dwutlenku węgla.

W 2017 r. istniejące w Polsce pochłaniacze dwutlenku węgla (głównie lasy) skompensowały netto ok. 34 MtCO<sub>2</sub>e<sup>43</sup>.

Według szacunków zasoby obszarów pochłaniających dwutlenek węgla w Polsce do 2050 r. zmniejszą się, gdyż lasy są już stosunkowo dojrzałe, a 40 proc. z nich ma ponad 60 lat. Planowane zwiększenie obszarów leśnych o trzy punkty procentowe (z 30 proc. w 2019 r. do 33 proc. powierzchni kraju w 2050 r.)<sup>44</sup> nie wystarczy, by zrekompensować stratę powstałą w związku z mniej efektywnym pochłanianiem dwutlenku węgla przez dojrzałe lasy. Biorąc pod uwagę oba czynniki, można założyć, że w 2050 r. pochłaniacze dwutlenku węgla będą w stanie wchłoniąć 10 MtCO<sub>2</sub>e.

W Polsce są warunki pozwalające zwiększyć ilość biomasy i przechować CO<sub>2</sub> tak, by kompensować emisje. W ciągu najbliższych 30 lat postęp w zakresie gospodarowania obszarami pochłaniającymi dwutlenek węgla i zwiększanie ich potencjału mogą doprowadzić do pełnego wykorzystania ogromnych możliwości kraju w tym zakresie.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że w 2017 r. Polska posiadała 9,2 mln hektarów lasów<sup>45</sup>, czyli odpowiednik 4,4 Gt CO<sub>2</sub>e w postaci biomasy stałej pod i nad powierzchnią ziemi. Dodatkowo odpowiednik 23,4 Gt CO<sub>2</sub>e jest składowany w glebie organicznej – na przykład na polach i obszarach podmokłych.

Poza istniejącymi gruntami rolnymi i obszarami miejskimi Polska ma potencjał, by zwiększyć ilość dwutlenku węgla składowanego na gruntach w postaci biomasy drzewnej o 0,9 Gt. Co więcej, kraj dysponuje także słabo zadrzewionymi gruntami, które mogą być źródłem dodatkowej biomasy. Obszary te mogłyby wychwytywać 1,8 Gt CO<sub>2</sub> z atmosfery, a generując co roku emisje ujemne na wymaganym

szacunkowym poziomie 20 Mt, mogłyby kompensować pozostałe emisje przez ponad sto lat.

Ze względu na duży obszar Polska ma ogromne możliwości zwiększenia pochłaniania dwutlenku węgla (Rysunek 6). Największy potencjał mają województwa: pomorskie, wielkopolskie, dolnośląskie, śląskie, świętokrzyskie i mazowieckie.

Istnieje wiele rozwiązań, które można wykorzystać w Polsce, aby składować co najmniej 23 Mt dwutlenku węgla. Jednak większość z nich wymaga dużego obszaru gruntów lub znacznego wysiłku. Aby zwiększyć realne szanse na utworzenie obszaru pochłaniającego dwutlenek węgla o wystarczająco dużej powierzchni, należy przeprowadzić ocenę i identyfikację najbardziej efektywnych kosztowo i najmniej skomplikowanych do wdrożenia mechanizmów działania. Taka ocena jest stosunkowo trudna i pracochłonna, jako że w przeciwieństwie do innych dźwigni dekarbonizacji mają zastosowanie odwrotne efekty skali, np. im większy obszar planowany pod zalesienie, tym trudniej jest go pozyskać, biorąc pod uwagę rosnący koszt gruntów.

Rysunek 7

### Możliwości pochłaniania CO<sub>2</sub> na gruntach w Polsce (2016)

Możliwości pochłaniania CO<sub>2</sub> przez zasoby naziemne (ok. 2016 r.)



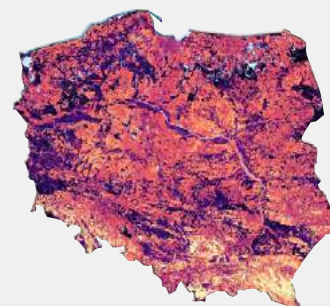
0 25 50 75 ≥100 Mg C ha<sup>-1</sup>

Możliwości pochłaniania CO<sub>2</sub> przez zasoby naziemne



0 25 50 75 ≥100 Mg C ha<sup>-1</sup>

Niezrealizowany potencjał pochłaniania CO<sub>2</sub> przez zasoby naziemne



0 20 40 60 ≥80 Mg C ha<sup>-1</sup>

Źródło: Woods Hole Research Center i The Nature Conservancy, 2019



# Dekarbonizacja systemu energetycznego



Jak pisaliśmy w poprzednim rozdziale, dekarbonizacja czterech sektorów gospodarki, które są odpowiedzialne za emisje, będzie najprawdopodobniej zależała w dużej mierze od ich elektryfikacji, ale również od zmian w wykorzystywaniu paliw. Emisje, których nie da się uniknąć, trzeba będzie wychwycić lub skompensować. W wyniku transformacji energetycznej w sektorach gospodarki można spodziewać się istotnych zmian w istniejącym miksie energetycznym opartym na węglu, ropie naftowej, gazie ziemnym i innych źródłach energii oraz znaczącego wzrostu roli energii elektrycznej.

W tym rozdziale omawiamy, jak mógłby wyglądać potencjalny niskoemisyjny mikś źródeł energii, który byłby w stanie sprostać obecnym i przyszłym

potrzebom polskiej gospodarki. Podobnie w przypadku pozostałych sektorów gospodarki rozpatrujemy rozwiązania najbardziej optymalne pod względem kosztów, opierając się na obecnie dostępnych technologiach i aktualnych prognozach kosztów. Ponieważ energia z odnawialnych źródeł, np. słońca czy wiatru, ma charakter niesterowalny, przyglądamy się również stabilności systemu i jego elastyczności. Skupiamy się przy tym na możliwościach składowania i technologiach konwersji energetycznej power-to-X (tj. sposobach konwersji energii elektrycznej w płynne lub lotne źródła energii na drodze elektrolizy i dalszych procesów syntezy, np. konwersja energii w wodór czy ciepło).

Nawet bez dodatkowych działań, jakich wymaga dekarbonizacja, polska sieć

przesyłowa i infrastruktura dystrybucji energii starzeją się i w ciągu 30 lat będą wymagać znacznych inwestycji. Dodatkowe zapotrzebowanie i zwiększona podaż energii odnawialnej przyniosą nowe wyzwania, które należy wziąć pod uwagę przy rozbudowie infrastruktury energetycznej.

## Zmiany w miksie energetycznym

W dłuższej perspektywie wraz z dekarbonizacją prawdopodobnie znacznie spadnie zapotrzebowanie na energię pierwotną z węgla, ropy i gazu ziemnego. Z naszych analiz wynika, że w latach 2020-2050 popyt na węgiel może zmniejszyć się o 94 proc., z czego 73-proc. spadek będzie wynikał z mniejszego wykorzystania węgla w energetyce. Dodatkowe 18 proc. spadku może być skutkiem zmian w sektorze budynków, tj. wprowadzania alternatywnych technologii grzewczych (takich jak pompy ciepła czy elektryczne systemy ogrzewania pomieszczeń), które zastąpią systemy opalane węglem. Spadek zapotrzebowania na węgiel w przemyśle może wynikać głównie ze zmian w rodzaju paliwa wykorzystywanego w produkcji cementu i stali (na przykład zastosowanie biomasy, potencjalnie z CCUS czy pieców łukowych).

Do 2050 r. zapotrzebowanie na ropę może spaść o 88 proc. w stosunku do poziomu z 2020 r., głównie ze względu na zmianę paliwa stosowanego w transporcie, tj. energii elektrycznej w samochodach osobowych,

wodoru w pojazdach ciężarowych i domieszki amoniaku do paliw wykorzystywanych w rolnictwie.

Jeśli chodzi o gaz ziemny, to według naszych analiz od 2020 do 2030 r. można spodziewać się 33-proc. wzrostu popytu. Ponieważ technologia produkcji energii przy wykorzystaniu tego surowca należy do najtańszych rozwiązań, pozwoli to kompensować spadającą produkcję elektrowni węglowych wyłączanych ze względu na osiągnięcie końca okresu eksploatacji. Jednak początkowo rosnący popyt mógłby zacząć spadać po 2030 r. Wynikałoby to z dwóch powodów. Po pierwsze, w procesie produkcji energii gaz ziemny może zostać zastąpiony źródłami odnawialnymi, których ceny z czasem powinny być bardziej konkurencyjne. Po drugie, po 2040 r. ze względów ekonomicznych w miejsce systemów ogrzewania gazowego w budynkach mogą być instalowane pompy ciepła. Co za tym idzie, do 2050 r. możliwy będzie 74-proc. spadek zapotrzebowania na gaz ziemny w porównaniu do 2020 r.

W latach 2020-2050 postępujący proces elektryfikacji wszystkich sektorów gospodarki prawdopodobnie spowoduje wzrost zapotrzebowania na niskoemisyjne źródła energii, w tym źródła odnawialne, atom i inne (głównie bioenergię). W najbliższym czasie zwiększać się może wykorzystanie bioenergiej, co będzie spowodowane rosnącą popularnością systemów ogrzewania opartych na biomasie, które w dłuższej perspektywie mogą być zastępowane ogrzewaniem elektrycznym (Rysunek 8).

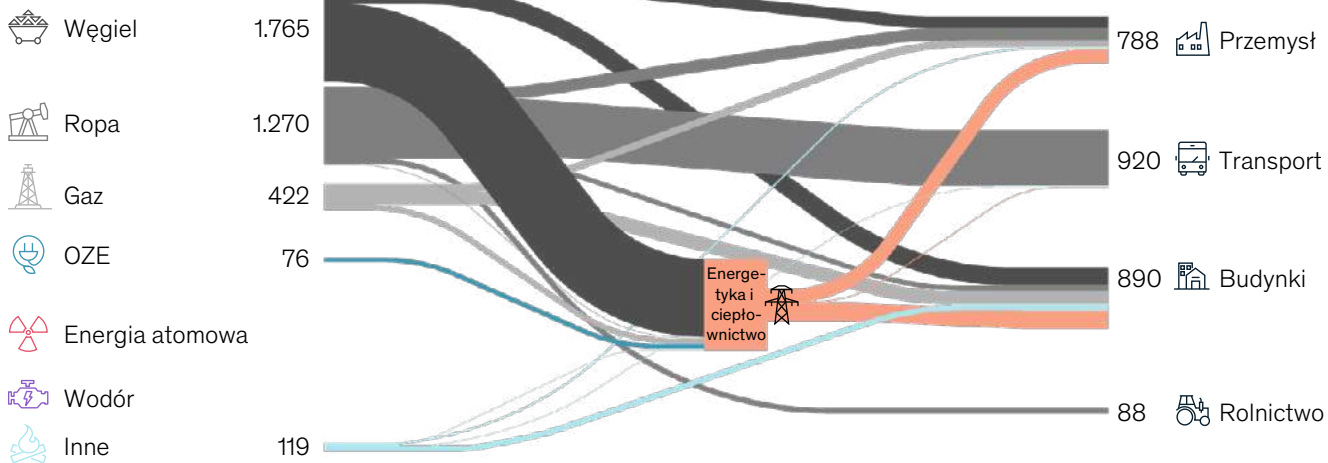
# Zmiany w systemie energetycznym byłyby znaczne. Po odejściu od paliw kopalnych zapotrzebowanie na energię wzrosłoby 2,4 razy

Rysunek 8

## Zmiana trendów w podaży i popycie na energię w gospodarce – lata 2020, 2030 i 2050

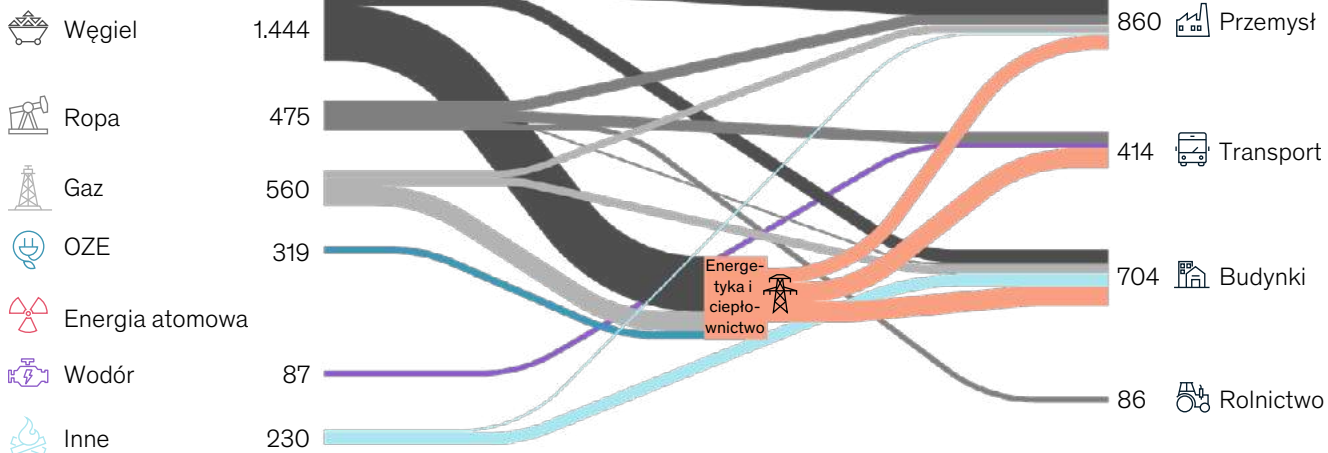
PJ

### 2020\*

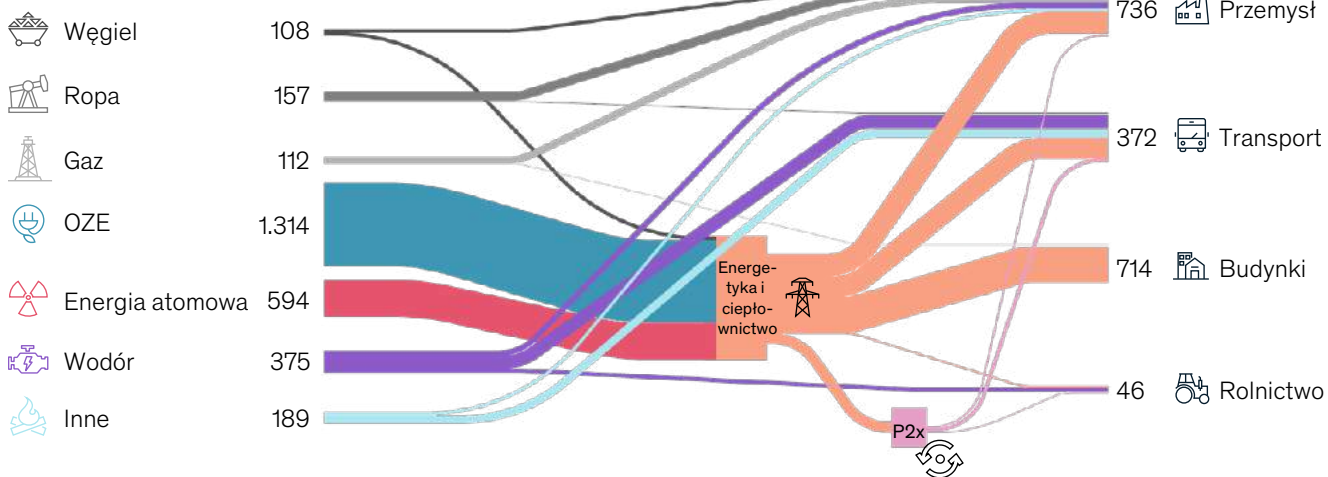


\* Przepływy energii w Polsce w 2020 r. mogą różnić się od przyjętej prognozy ze względu na pandemię COVID-19 oraz jej wpływ na gospodarkę

### 2030



### 2050

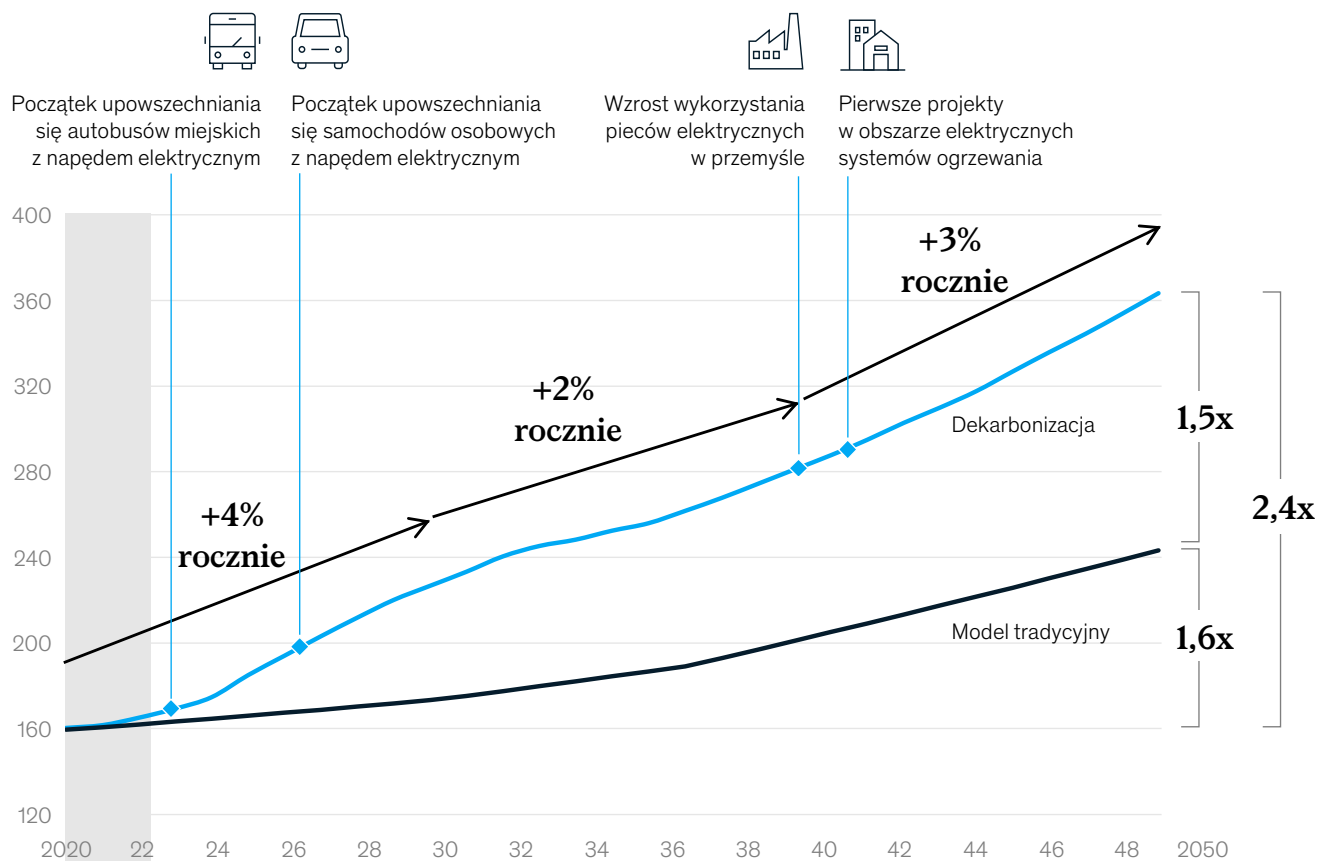


Źródło: Narzędzie McKinsey & Company Decarbonization Pathway Optimizer; Global Energy Perspective; Pion Zrównoważonego Rozwoju McKinsey & Company

Rysunek 9

## Potencjalny wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną do 2050 r.

% rocznie



Zapotrzebowanie na energię elektryczną w Polsce w latach 2020-2022 może różnić się od przyjętej prognozy ze względu na pandemię COVID-19 oraz jej wpływ na gospodarkę

Źródło: Narzędzie McKinsey & Company Decarbonization Pathway Optimizer; Global Energy Perspective; Pion Zrównoważonego Rozwoju McKinsey & Company

### Wzrost zapotrzebowania na energię związany z elektryfikacją gospodarki

Analiza systemu energetycznego Polski w scenariuszu odniesienia (bez dekarbonizacji) wskazuje, że do 2050 r. należałoby się spodziewać 50-proc. wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną.

Z kolei proces dekarbonizacji oznaczałby konieczność wzmożonej elektryfikacji gospodarki. To przełożyłoby się na dynamiczny wzrost popytu na energię o kolejne 50 proc. w porównaniu do scenariusza odniesienia (bez dekarbonizacji) (Rysunek 9). Co za tym idzie, w przypadku realizacji do 2050 r.

przedstawionego scenariusza dekarbonizacji zapotrzebowanie na energię elektryczną wzrosłoby 2,4 razy w stosunku do obecnego poziomu.

80 proc. całkowitego wzrostu wynikałoby ze zmian w transporcie i modernizacji budynków, zaś pozostałe 20 proc. – z elektryfikacji innych gałęzi gospodarki. Oznacza to, że w 2050 r. udział transportu w całkowitym zapotrzebowaniu na energię elektryczną wzrósłby znacząco do ok. 25 proc. (z 2,4 proc. obecnie). Z drugiej strony udział przemysłu w całkowitym zapotrzebowaniu na energię zmniejszyłby się do niecałych 30 proc. (z 45 proc. obecnie).



W przedstawionym scenariuszu dekarbonizacji zakładamy, że z upływem czasu zapotrzebowanie na energię będzie rosło w różnym tempie, jako że w każdym sektorze elektryfikacja rozpocznie się w innym momencie. Od dziś do 2030 r. tempo wzrostu może być stosunkowo dynamiczne (4 proc. w skali roku), głównie z uwagi na prawdopodobne upowszechnienie pojazdów z napędem elektrycznym (np. autobusów miejskich i samochodów osobowych) po roku 2022. Od 2030 r. należy spodziewać się spowolnienia tego trendu, jednak po roku 2040 tempo wzrostu powinno ponownie przyspieszyć (do ok. 3 proc. rocznie). Druga fala wzrostu byłaby spowodowana wprowadzeniem na dużą skalę elektrycznych rozwiązań dla przemysłu i budownictwa – takich jak piece elektryczne w zakładach przemysłowych i pompy ciepła w budynkach.

Wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną może spowodować konieczność zapewnienia odpowiedniej podaży energii niskoemisyjnej oraz szczegółowego planowania rozbudowy systemu energetycznego, aby uniknąć potencjalnych negatywnych efektów zewnętrznych, np. podwyżek

cen energii elektrycznej lub zwiększenia ryzyka niestabilności sieci przesyłowej i dystrybucyjnej.

### **Ewolucja systemu elektroenergetycznego**

Całkowita dekarbonizacja systemu elektroenergetycznego do 2050 r. będzie najprawdopodobniej wymagała dwóch fundamentalnych zmian. Po pierwsze, w latach 2020–2050 należałoby zmniejszyć o prawie 95 proc. udział energetyki węglowej (czemu powinno towarzyszyć obniżenie o 80 proc. mocy wytwórczych). W tym czasie ponad 85 proc. bloków zainstalowanych w istniejących elektrowniach węglowych osiągnie koniec okresu eksploatacji zgodnie z obecnymi przewidywaniami<sup>46</sup>.

Po drugie, można zakładać, że udział energii ze źródeł odnawialnych w całkowitym miksie energetycznym będzie rósł, osiągając do 2050 r. 80 proc. dla energii pochodzącej ze słońca i wiatru. Ten skok może wynikać w dużej mierze z przewidywanego spadku nakładów inwestycyjnych w technologie oraz wzrostu cen uprawnień do emisji CO<sub>2</sub> w unijnym systemie ETS, z 29 euro do 34 euro za tonę w latach 2020–

–2050. Według naszych szacunków energia pochodząca z lądowych elektrowni wiatrowych osiągnie parytet kosztów z energią z węgla przed 2025 r., energia z morskich farm wiatrowych – przed 2030 r., a energia pochodząca ze słońca – przed 2035 r.

Rezygnacja z węgla może oznaczać dla Polski olbrzymie zmiany. Historycznie gospodarka w dużym stopniu była uzależniona od węgla, a obecnie ok. 80 proc. wytwarzanej energii pochodzi z elektrowni węglowych. Co więcej, w całym sektorze węglowym zatrudnionych jest około 90 tys. osób, a niektóre źródła podają zbliżoną liczbę zatrudnionych w związanych z nim branżach<sup>47</sup>. Z działalnością sektora węglowego w Polsce wiąże się więc szereg ważnych kwestii społeczno-ekonomicznych, które trzeba rozważyć, planując transformację energetyczną (zob. ramka „Historia węgla w Polsce”).

Odejście od gospodarki opartej na węglu nie musi jednak mieć znaczącego wpływu na zatrudnienie, przynajmniej w początkowej fazie transformacji. Równocześnie w dłuższej perspektywie konieczne może być przekwalifikowanie pracowników.



Według planów rządu do 2030 r. produkcja energii w elektrowniach węglowych ma spaść o około 20 pkt proc.<sup>48</sup>. W tym czasie zbliżony odsetek pracowników przejdzie na emeryturę (około 40 tys. osób, tj. 45 proc.)<sup>49</sup>. Biorąc pod uwagę fakt, że poziom zatrudnienia w kopalniach jest w dużej mierze stały, a w latach 2017-2018 ok. 10-15 proc. zapotrzebowania na węgiel w Polsce pokrywał surowiec pochodzący z importu<sup>50</sup>, spadek popytu na węgiel zapewne nie przełoży się proporcjonalnie na redukcję miejsc pracy. Oznacza to, że do 2030 r. sektor będzie prawdopodobnie zatrudniać nowych pracowników, aby choćby częściowo obsadzić stanowiska zwolnione w związku z przechodzeniem na emeryturę (zarówno w modelu tradycyjnym, jak i przy dekarbonizacji gospodarki), choć liczba ta może zostać zmniejszona np. wraz z rozwojem automatyzacji lub poprawą efektywności wydobywania. Odpowiednio wcześniej zaplanowane programy pozwalające na przekwalifikowanie lub doksztacenie umożliwiłyby przejście tych pracowników do branż niskoemisyjnych po 2030 r. Więcej informacji na ten temat znajduje się w Rozdziale 5.

Aby do 2050 r. osiągnąć optymalny i najbardziej efektywny kosztowo miks źródeł energii i sprostać popytowi na energię niskoemisyjną, należałoby zwiększyć produkcję z gazu ziemnego i wiatru (Rysunek 10). W 2019 r. te dwa źródła odpowiadały za produkcję 10 proc. energii, a w naszym scenariuszu dekarbonizacyjnym do 2050 r. ten odsetek mógłby wzrosnąć do ok. 80 proc. W 2050 r. reszta generowanej energii pochodziłaby z atomu, słońca, biomasy i wody, a także elektrowni węglowych wyposażonych w technologie CCUS.

Aby skompensować spadek produkcji energii z węgla do 2030 r., należałoby zwiększyć moce wytwórcze z gazu ziemnego do 18 GW. Całkowite zapotrzebowanie na gaz ziemny wyniosłoby w szczytowym momencie 9 mld metrów sześciennych ok. 2030 r.

Biorąc pod uwagę przeprowadzone ostatnio oraz planowane prace w zakresie rozbudowy infrastruktury, Polska powinna poradzić sobie z importem i przesyłem takich ilości. W naszym scenariuszu zakładamy, że po 2040 r. elektrownie gazowe o mocy 5 GW będą wycofane z eksploatacji. W dalszej części rozdziału opisujemy, jak okres ich funkcjonowania można byłoby przedłużyć, aby zapewnić dodatkową moc bilansującą system. Zwiększone zapotrzebowanie będzie oznaczać także konieczność budowy infrastruktury przesyłu, składowania i importu gazu ziemnego. Jedną z możliwości jest rozszerzenie istniejącej infrastruktury skroplonego gazu ziemnego (LNG) w Polsce.

### **Bezemisyjne źródła energii**

Transformacja systemu energetycznego w bezemisyjny zależeć będzie od przyspieszenia instalacji OZE w skali pozwalającej zaspokoić rosnący popyt na energię elektryczną.

W przedstawionym przez nas scenariuszu dekarbonizacji energia pochodząca z wiatru staje się najważniejszym źródłem po 2030 r. i do 2050 r. ma generować około połowy energii. W scenariuszu zakładamy, że moce zainstalowane dla morskiej energetyki wiatrowej mogłyby wynosić do 45 GW, czyli ok. 30 proc. całkowitych mocy w 2050 r. (zob. „Potencjał morskiej energii wiatrowej”). Z kolei moc lądowych elektrowni wiatrowych do 2050 r. mogłaby osiągnąć 35 GW, czyli 21 proc. całkowitych mocy. Opracowanie programu inwestycji na tak ogromną skalę wymagałoby oczywiście rozwiązania wielu kwestii związanych z regulacjami, środowiskiem naturalnym oraz łańcuchami dostaw. Może jednak przyczynić się do powstawania w Polsce nowych gałęzi gospodarki.

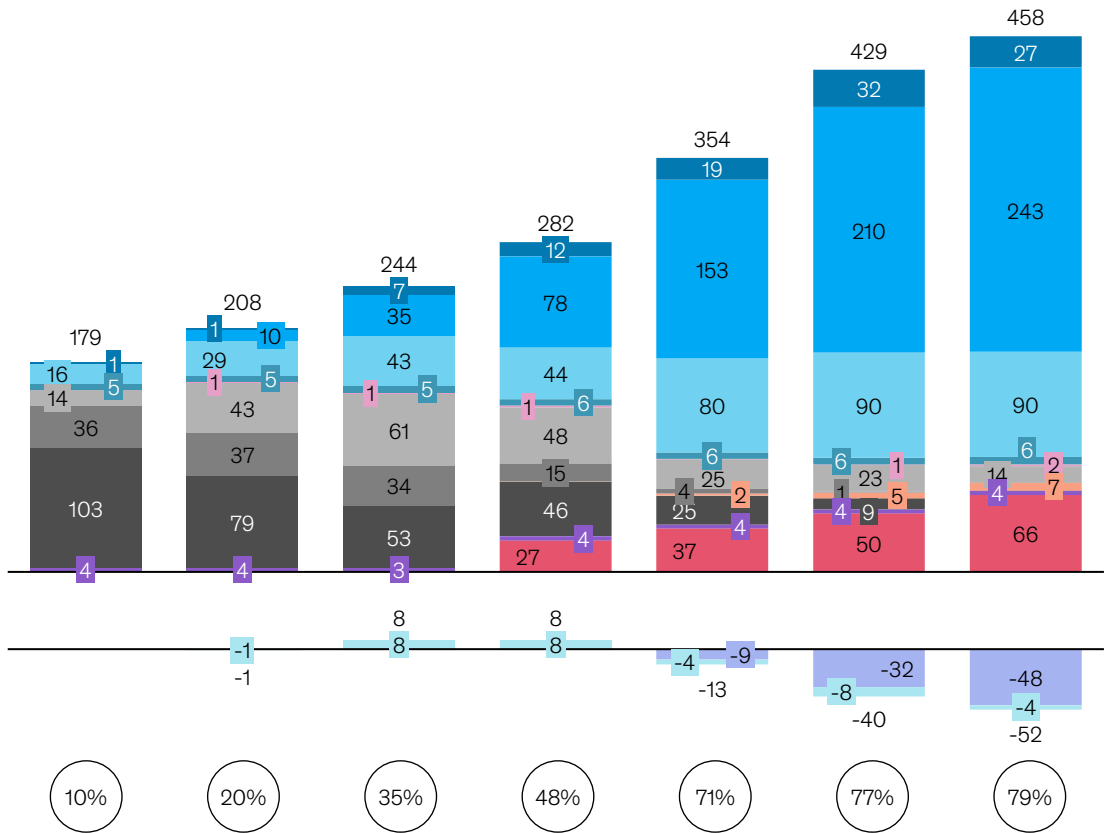
Jeśli chodzi o energetykę słoneczną, można założyć, że moc w tym obszarze będzie wzrastać w stałym tempie, wraz z obniżeniem się nakładów technologicznych na instalacje. Szacujemy, że do 2050 r. energia słoneczna może stanowić około 13 proc. całkowitej podaży.

Rysunek 10

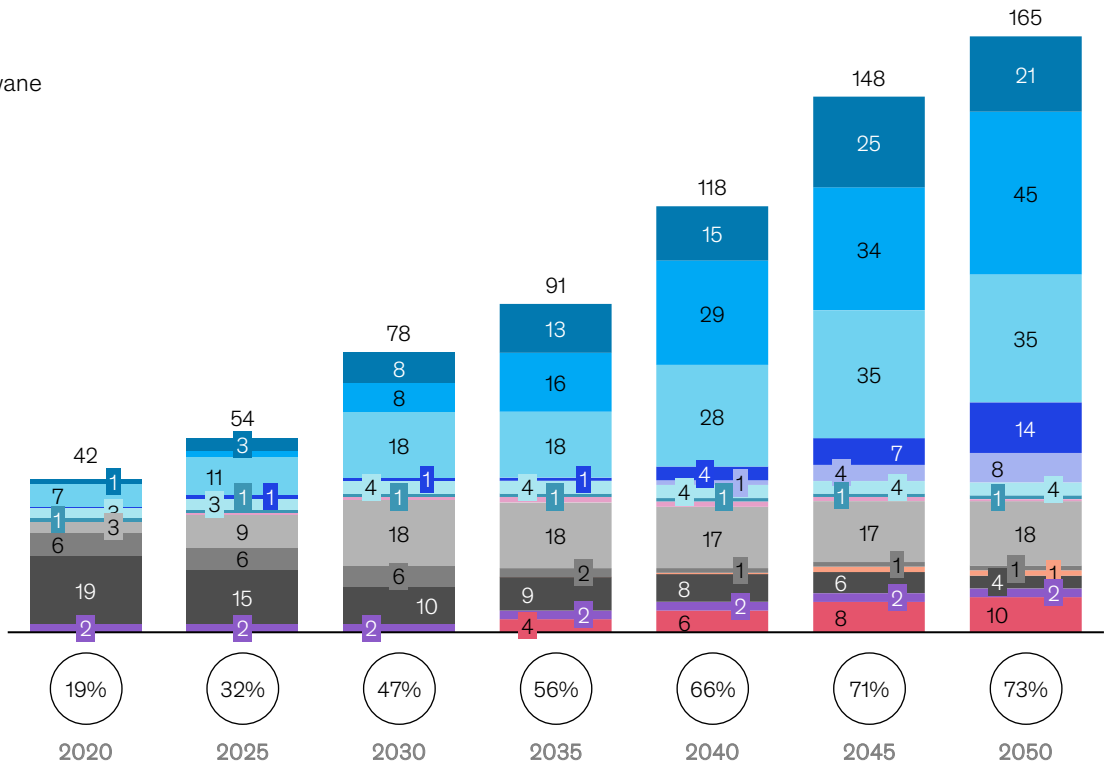
### Potencjalna struktura miks energetyczny w Polsce i przewidywane moce wytwórcze



#### Produkcja TWh/rok



#### Moc GW zainstalowane



Źródło: Model elastyczności energetycznej McKinsey & Company, październik 2019 r.

## Historia węgla w Polsce

Zanim Polska rozpoczęła transformację ekonomiczną w 1989 r., węgiel stanowił podstawowe źródło energii elektrycznej, odpowiadające za niemal 100 proc. dostaw energii elektrycznej. Ze względu na udział węgla w gospodarce Polska była jednym z pięciu największych producentów tego surowca na świecie. W 1979 r. produkcja węgla osiągnęła najwyższy poziom w historii. Od tego momentu stopniowo malała ze względu na spadek wydajności kopalń i brak dostępu do rynków międzynarodowych. W ciągu ostatnich 20 lat udział sektora w PKB zmniejszył się o ponad połowę – z 3,7 proc. PKB w 1995 r. do 1,8 proc. w 2015 r. Zatrudnienie natomiast spadło z 400 tys. w 1990 r. do poniżej 90 tys. w 2018 r.

Węgiel jest nadal kluczowym czynnikiem w polskim systemie energetycznym, jednak jego znaczenie będzie zapewne spadało. Wraz z wyczerpywaniem się stosunkowo łatwych w eksploatacji pokładów wzrastają koszty produkcji. Rosną także koszty pracy w Polsce, przy równoczesnym obniżaniu się kosztów instalacji OZE. Również produkcja energii w elektrowniach węglowych stanie się coraz droższa, jeśli wprowadzone zostaną docelowe poziomy ograniczenia emisji (a wraz z nimi np. wyższe podatki węglowe). Coraz trudniej jest również znaleźć finansowanie dla inwestycji związanych z węglem, np. kopalń czy elektrowni, gdyż coraz więcej banków wprowadza procesy oceny inwestycji pod kątem ich emisyjności, szczególnie dla technologii wysokoemisyjnych.



Jeśli chodzi o energetykę nuklearną, model dekarbonizacji zakłada, że Polska będzie realizować plany uruchamiania elektrowni atomowych zgodnie z najnowszymi założeniami projektu Polityki Energetycznej Polski. Według nich w latach 2033-2043 mają powstać reaktory o łącznej mocy 6-9 GW<sup>51</sup>. W 2050 r. energia wyprodukowana w ten sposób mogłaby pokryć około 6 proc. całkowitego zapotrzebowania. Trzeba wziąć jednak pod uwagę, że inwestycje w energetykę atomową rodzą zwykle poważne wyzwania dotyczące czasu trwania projektów i środków na ich finansowanie, lokalizacji, prac przygotowawczych i zabezpieczenia umów z dostawcami. Kluczowe jest pytanie, czy Polska będzie w stanie zmierzyć się z tymi wyzwaniami i rozwijać energetykę nuklearną zgodnie z planem. Zakładając, że plany zostaną jednak zrealizowane, energia atomowa może odegrać istotną rolę w realizacji przedstawionego w tym raporcie scenariusza dekarbonizacji. Po pierwsze, wydatki na inwestycje związane ze zbudowaniem kolejnych

elektrowni atomowych będą niższe niż w przypadku pierwszego projektu, w miarę zdobywania doświadczeń w obszarze certyfikacji, projektowania i budowy, a co za tym idzie obniżania uśrednionych kosztów energii. Należy też pamiętać, że produkcja węgla i gazu ziemnego będzie coraz droższa w związku z koniecznością zakupu praw do emisji w ramach ETS i wdrożeniem procesów CCUS. Przyjmując, że zaplanowane inwestycje zostaną zrealizowane, a koszt jednostkowy zostanie znacząco ograniczony, efektywny kosztowo model miksu energetycznego sugeruje, że dodatkowe 1 GW mocy centralnie dysponowanych mogłoby pochodzić z energii atomowej, zwiększając moce zainstalowane powyżej poziomu zakładanego przez polskie władze. Polska posiadałaby wówczas 10 GW energii z atomu. Jeśli oczekiwane zmniejszenie nakładów na energetykę atomową nie nastąpi, dodatkowa moc centralnie dysponowana może być zapewniona w bardziej efektywny kosztowo sposób, np. przez elektrownie gazowe wyposażone w technologię CCUS.

### **Elastyczność systemu energetycznego**

Włączenie do systemu energetycznego przeszło 80 proc. energii elektrycznej wytwarzanej z odnawialnych źródeł w sposób niesterowalny wymagałoby równoległej instalacji nowych rozwiązań zapewniających elastyczność systemu w sposób bezemisyjny (rozwiązania w zakresie elastyczności zapewniają dodatkowe zdolności bilansowania i poprawy jakości dostaw energii elektrycznej). Tego typu rozwiązania zapewniłyby dodatkowe zasoby energetyczne za pomocą magazynów energii, ograniczenie nadmiaru w okresach nadprodukcji energii ze źródeł odnawialnych, a także stabilność w razie wyjątkowych zjawisk pogodowych, takich jak długotrwałe zachmurzenie z towarzyszącym mu brakiem wiatru<sup>52</sup>.

Poniższe rozwiązania mogą w tym pomóc.

- Technologie konwersji energetycznej power-to-X (takie jak elektrolizery zasilane energią odnawialną) można zastosować do produkcji wodoru, który powinien odgrywać coraz większą

**W przedstawionym przez nas scenariuszu dekarbonizacji energia pochodząca z wiatru staje się najważniejszym źródłem po 2030 r. i do 2050 r. ma generować około połowy energii**

# 75 mld euro

to prawdopodobny koszt niezbędnej modernizacji polskiej sieci elektroenergetycznej (nieuwzględniający scenariusza dekarbonizacji)

rolę jako nośnik energii dla transportu ciężarowego i przemysłu. W naszym scenariuszu moce zainstalowane technologii power-to-X wynoszą 8 GW. To powinno wystarczyć, by wykorzystać nadwyżkę energii wygenerowanej ze źródeł odnawialnych (szczególnie morskich elektrowni wiatrowych na północy Polski) i przekierować ją ponownie do systemu, kiedy znajdzie taka potrzeba.

- Pojemność magazynów do przechowywania nadwyżek energii mogłaby wzrosnąć do 14 GW. Wprowadzenie nowych sposobów magazynowania będzie możliwe dzięki coraz niższym kosztom technologii, które według naszych założeń powinny spaść z 260 euro za 1 kWh w 2019 r. do około 50 euro za 1 kWh w 2050 r<sup>53</sup>.
- Elektrownie węglowe o mocy 4 GW można zmodernizować, wdrażając do 2050 r. technologię CCUS i wprowadzając opał w postaci biomasy, aby zapewnić dodatkową, bezemisyjną moc bilansującą.
- Scenariusz przedstawiony w tym raporcie zakłada ograniczony udział transgranicznych linii przesyłowych w dostarczaniu energii do krajowego systemu, co wynika z faktu, że w większości sąsiednich krajów popyt i podaż na energię odnawialną kształtują się podobnie jak w Polsce. Interkonektory będą jednak nadal odgrywały ważną rolę w bilansowaniu systemu.

Istnieją również inne metody uelastyczniania systemu energetycznego. Dla przykładu – wprowadzenie mechanizmu redukcji zapotrzebowania na polecenie operatora oraz upowszechnienie wytwarzania rozproszonego mogą stworzyć nowe możliwości ograniczenia zapotrzebowania szczytowego (więcej informacji w Załączniku C).

## Wzmocnione sieci przesyłowe i dystrybucja energii

W ciągu najbliższych 30 lat niezbędna modernizacja polskiej sieci elektroenergetycznej (w tym sieci przemysłowych i dystrybucyjnych) będzie najprawdopodobniej wymagała – według naszych analiz – inwestycji rzędu 75 mld euro. Analizowany scenariusz dekarbonizacji zakłada konieczność zwiększenia tej kwoty o 30-35 mld euro na rozbudowę i wzmocnienie.

Do 2050 r. inwestycje w same sieci przesyłowe pochłoną 25 mld euro. Ich rozbudowa i dostosowanie do rosnącego popytu związanego z dekarbonizacją wymagałyby dodatkowych 20-25 mld euro. Mniej więcej połowa dodatkowych nakładów będzie związana z instalacją dodatkowych mocy wytwórczych i wzrostem popytu na energię elektryczną. Poza tym niezbędne będą inwestycje umożliwiające przesył energii z elektrowni wiatrowych na Bałtyku na południe kraju, gdzie wiele elektrowni węglowych zostanie wycofanych z użytkowania ze względu na koniec okresu eksploatacji. Pozostałe fundusze potrzebne będą na działania związane ze wzrostem zapotrzebowania szczytowego.

Z naszego modelowania wynika, że w scenariuszu bez dekarbonizacji (scenariusz odniesienia) w latach 2020-2050 sieć dystrybucyjna będzie wymagała inwestycji rzędu 50 mld euro. Wynikać to będzie z konieczności wymiany infrastruktury i dostosowania jej do rosnącego zapotrzebowania na energię elektryczną. Realizacja scenariusza dekarbonizacji oznacza, że konieczne będą dodatkowe inwestycje rzędu 10 mld euro. Wynikać to może głównie ze wzrostu popytu na energię elektryczną (ze względu na upowszechnienie pomp ciepła czy pojazdów z napędem elektrycznym) i trendy prosumenckie (np. panele słoneczne na dachach). Oba te obszary wymagają ok. 80 proc. dodatkowych inwestycji w sieć dystrybucyjną, pozostałe 20 proc. trzeba byłoby przeznaczyć na modernizację sieci związaną z rozwojem elektrowni wiatrowych na lądzie.

## Potencjał morskiej energii wiatrowej

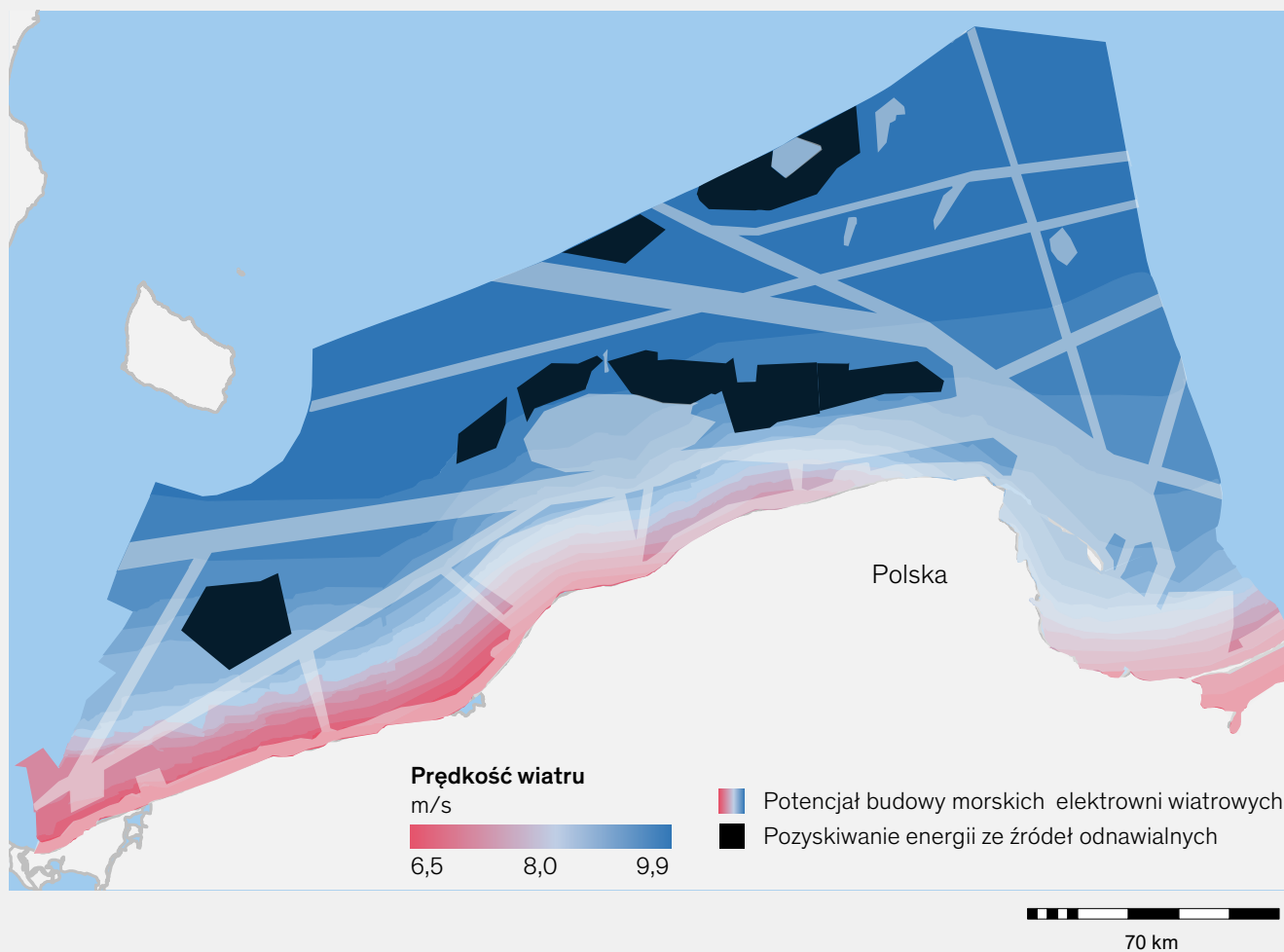
Według przedstawionego modelu dekarbonizacji morska energia wiatrowa może odgrywać bardzo istotną rolę w wytwarzaniu niskoemisyjnej energii elektrycznej w Polsce. Jest szansa, by w latach 2020-2040 r. na Bałtyku powstały farmy wiatrowe o mocy 30 GW. W ciągu następnych dziesięciu lat system mógłby zwiększyć moc o kolejne 15 GW. W sumie daje to 45 GW, czyli wartość, która przewyższa dotychczasowe prognozy rynkowe. Jednak bazując na danych dotyczących dostępności niewykorzystanych dotąd obszarów morskich, w naszej analizie wskazujemy, że aby wygenerować 30 GW morskiej energii z wiatru, należy

zagospodarować ok. 25-30 proc. dostępnego obszaru. Rozszerzenie zakresu o dodatkowe 15 proc. wystarczy, by wygenerować moc 45 GW (Rysunek 11). Szczegółowe założenia można znaleźć w Załączniku C.

Polska strefa ekonomiczna u brzegów Morza Bałtyckiego oferuje świetne warunki do rozwoju energii wiatrowej. Bałtyk jest stosunkowo płytki (średnia głębokość poniżej 50 m) i charakteryzuje się silnym wiatrem (o średniej prędkości powyżej 8 m/s, a morskie elektrownie wiatrowe mogą osiągać rentowność przy wietrze powyżej 7 m/s)<sup>54</sup>.

Rysunek 11

### Ocena polskiej wyłącznej strefy ekonomicznej na Morzu Bałtyckim jako lokalizacji dla morskich elektrowni wiatrowych



Źródło: Urząd Morski w Gdyni (2018); Morski Instytut Rybacki (2018); Biuletyn Informacyjny Polskiej Akademii Nauk (2018)





# Koszty i potencjalne skutki dekarbonizacji

Dekarbonizacja może mieć ogromny wpływ na całą strukturę gospodarczą kraju. W tym rozdziale omawiamy jej potencjalne skutki makroekonomiczne w trzech głównych grupach. Po pierwsze, obniżenie poziomu emisji netto do zera będzie wymagało dodatkowych nakładów inwestycyjnych, np. w mobilności oraz modernizacji infrastruktury energetycznej czy budynków. Ten wzrost nakładów kapitałowych może być częściowo skompensowany przez niższe koszty operacyjne, m.in. związane z lepszą izolacją termiczną domów czy bardziej wydajnymi środkami transportu.

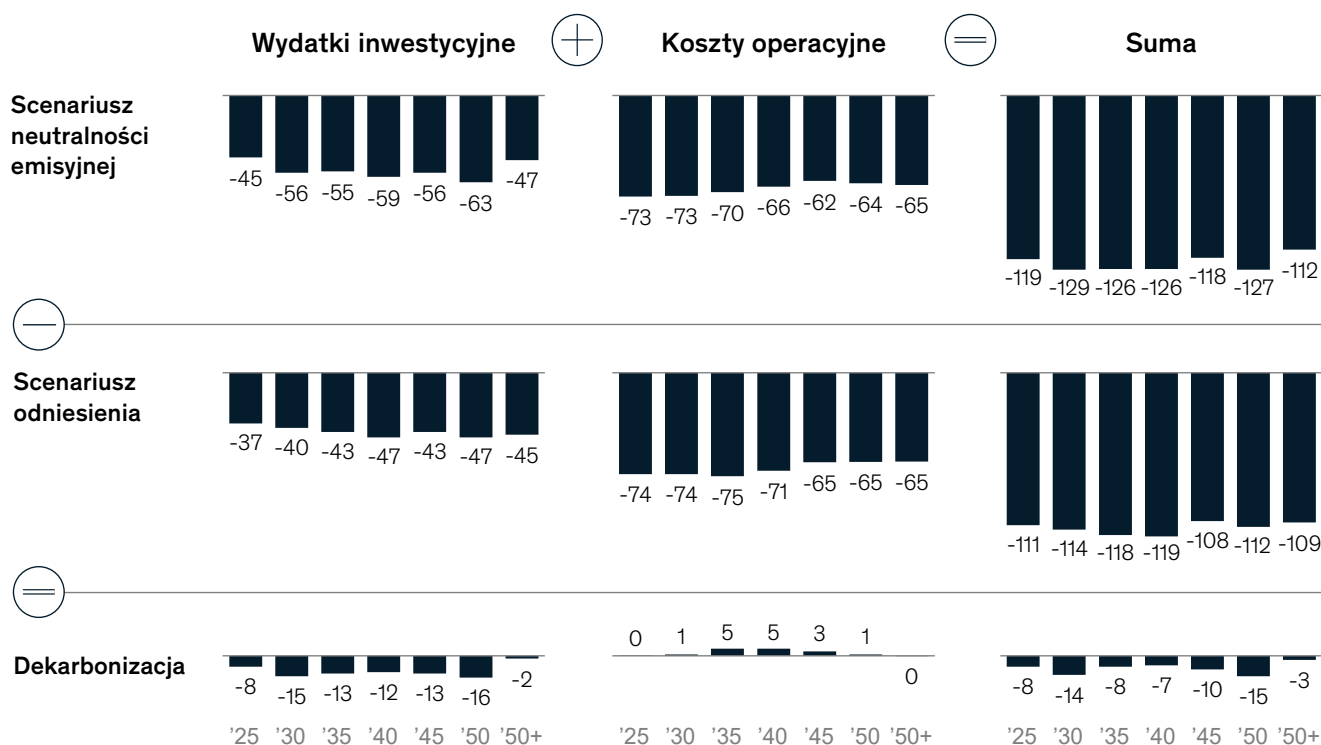
Po drugie, z naszych analiz wynika, że dekarbonizacja powinna przynieść jeszcze inne skutki makroekonomiczne. Mianowicie – bilans handlowy Polski powinien się poprawić. Wynikałoby

to głównie ze spadku importu paliw kopalnych o wartości ok. 15 mld euro w skali roku.

Po trzecie, w gospodarce bezemisyjnej zmienia się sposób, w jaki funkcjonują przedsiębiorstwa oraz jak korzystają z produktów i usług. W związku z tym najprawdopodobniej trzeba będzie do nowej rzeczywistości dostosować system podatkowy. W naszych analizach wyróżniliśmy rolę podatków w transporcie, wskazując potencjalne implikacje podatkowe związane z dekarbonizacją.

Ponadto dekarbonizacja może być szansą na przyspieszenie wzrostu gospodarczego. Nasze analizy wskazują, że korzyści gospodarcze dla Polski mogą zostać osiągnięte przez zaangażowanie w pięć obszarów:

## Finansowe skutki dekarbonizacji polskiej gospodarki w mld euro, średnia dla okresu pięcioletniego



Uwaga: przy średnim ważonym koszcie kapitału na poziomie 4%. Przy ocenie przepływów pieniężnych po 2050 r. przyjęto prognozowany wskaźnik kosztów operacyjnych na 2050 r., a poziom wydatków inwestycyjnych oparto na wydatkach na inwestycje odtworzeniowe w związku z założeniem, że zmiany w zakresie wdrożenia technologii wspierającej dekarbonizację zachodzą w latach 2030-2050

Źródło: Pion Zrównoważonego Rozwoju McKinsey & Company

produkcję części do pojazdów elektrycznych, morską energetykę wiatrową, produkcję elektrycznych pomp ciepła, budowę elektrycznych maszyn rolniczych oraz działalność badawczo-rozwojową i wdrożeniową w zakresie technologii (BE)CCUS. Razem te obszary mogą w sumie podnieść PKB Polski o 1-2 proc. i przyczynić się do powstania 250-300 tys. nowych miejsc pracy.

### Analiza opłacalności wybranego modelu dekarbonizacji

Dekarbonizacja polskiej gospodarki będzie wymagała dodatkowych nakładów. Z naszych analiz wynika, że aby ją przeprowadzić, trzeba by dokonać inwestycji o całkowitym koszcie 380 mld euro do 2050 r. wzrosnąć o 380 mld euro. Warto jednak pamiętać, że transformacja będzie związana ze spadkiem

kosztów operacyjnych. Według naszych szacunków można by dzięki temu zaoszczędzić 75 mld euro.

### Inwestycje i zwrot z inwestycji w dekarbonizację

Z naszych analiz wynika, że aby w pełni zdekarbonizować polską gospodarkę do 2050 r., trzeba by zwiększać wydatki inwestycyjne średnio o 13 mld euro rocznie. Prawie połowę tych dodatkowych inwestycji należałoby przeprowadzić w ciągu najbliższych 15 lat i skupić się głównie na pojazdach z napędem elektrycznym oraz modernizacji budynków i infrastruktury energetycznej. W większości przypadków podmioty, które będą inwestować w rozwiązania obniżające emisje, mogą spodziewać się odzyskania tych środków dzięki niższym kosztom operacyjnym (Rysunek 12).

Dodatkowe nakłady inwestycyjne kształtują się na poziomie odpowia-

dającym w zależności od okresu ok. 1-2 proc. PKB Polski i 10-12 proc. wartości bieżących rocznych inwestycji w gospodarkę kraju. Wzrost inwestycji, który pociągałaby za sobą dekarbonizacja, pozwoliły Polsce dorównać unijnej średniej, która wynosi 21-22 proc. PKB<sup>55</sup>.

### Inwestycje i zwrot z inwestycji w podziale na sektory

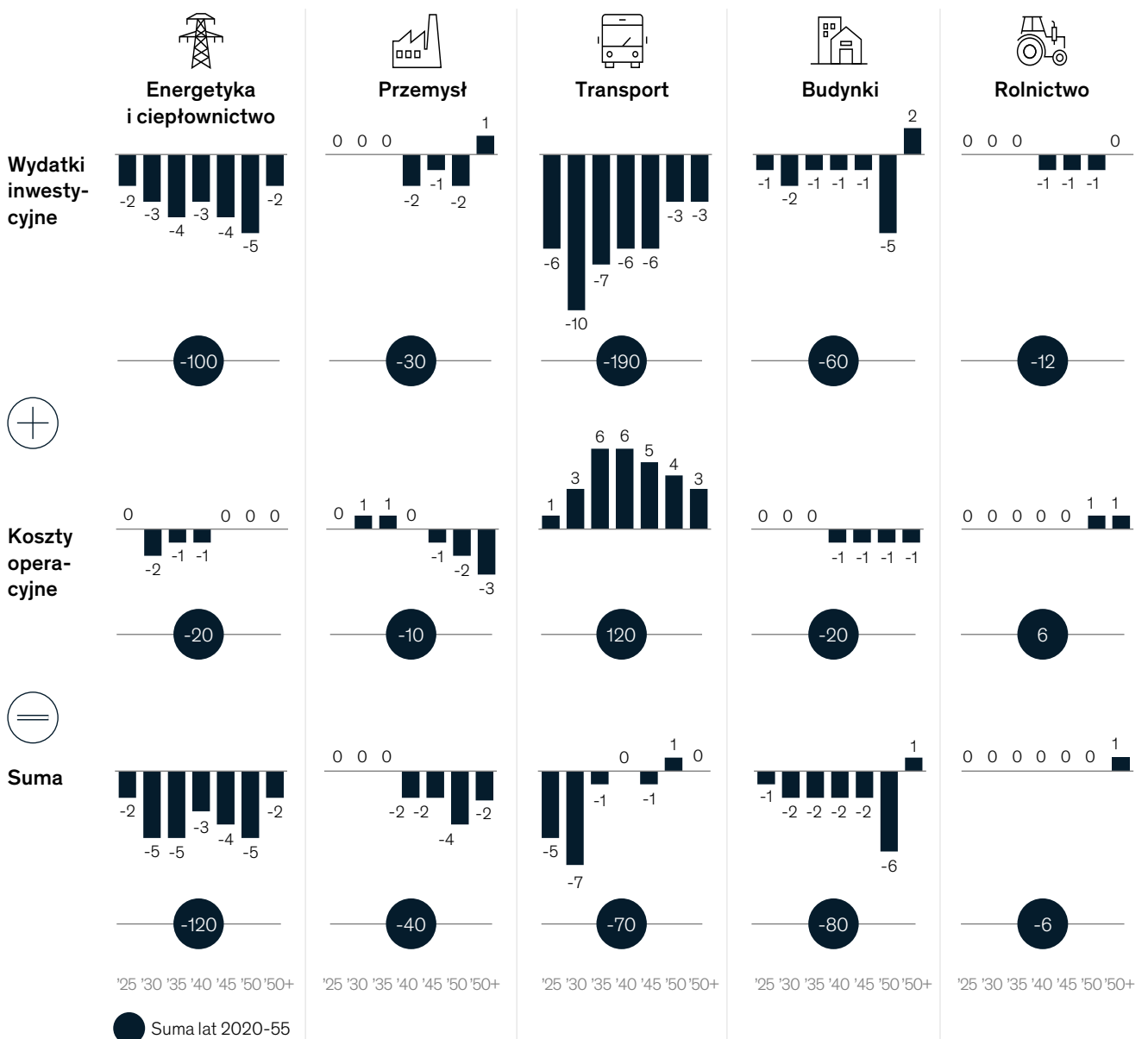
Ogólne dane liczbowe dotyczące inwestycji i zwrotu z nich dają jedynie częściowy obraz całości. Warto przyjrzeć się szczegółom w podziale na sektory (Rysunek 13).

Inwestycje w rozwiązania nisko-emisyjne należy traktować nie tylko w kategoriach ich wpływu finansowego netto, ale także uwzględniając inne czynniki, np. kto będzie realizował nakłady, a kto czerpał z nich korzyści (zobacz Ramkę „Cztery rodzaje dźwigni dekarbonizacyjnych”).

Rysunek 13

## Finansowe skutki wdrożenia naszego scenariusza dekarbonizacji według sektorów

Mld euro, średnia dla 5 lat, rocznie



Zwiększenie 1,5 raza produkcji energii w porównaniu do modelu tradycyjnego wymagałoby dodatkowych inwestycji w energetyce i spowodowałoby wzrost kosztów operacyjnych związanych z produkcją gazu

Przepływy pieniężne w przemyśle w ciągu najbliższych 15 lat będą dodatnie, gdy działania na rzecz zwiększenia wydajności energetycznej zaczną przynosić zyski. W latach 2035-2050 nakłady kapitałowe byłyby wyższe niż w przypadku scenariusza odniesienia. Po 2040 r. wraz z ograniczeniem emisji z przemysłu wzrosłyby również koszty operacyjne

Dodatni poziom netto przepływów finansowych w transporcie wynikałby głównie ze znacznego obniżenia kosztów operacyjnych z tytułu niższych cen energii w porównaniu z energią z paliw kopalnych

Przyczyną ujemnego poziomu netto przepływów finansowych w sektorze budynków byłyby wyższe wydatki inwestycyjne związane z izolacją i ogrzewaniem. Co więcej, inwestycje w technologie grzewcze nie przynoszą zwykle oszczędności kosztów operacyjnych w związku z niskimi aktualnymi cenami paliw

Dekarbonizacja rolnictwa miałaby niewielki wpływ finansowy. Wysokie wydatki inwestycyjne to wynik zastosowania paliw niskoemisyjnych (np. amoniaku) w maszynach rolniczych

Uwaga: Przy średnim ważonym koszcie kapitału na poziomie 4%.

Przy ocenie przepływów pieniężnych po 2050 r. przyjęto prognozowany wskaźnik kosztów operacyjnych na 2050 r., a poziom wydatków inwestycyjnych oparto na wydatkach na inwestycje odtworzeniowe, w związku z założeniem, że zmiany w zakresie wdrożenia technologii wspierającej dekarbonizację zachodzą w latach 2030-2050

Źródło: Narzędzie McKinsey & Company Decarbonization Pathway Optimizer

## Cztery rodzaje dźwigni dekarbonizacyjnych

Każdy sektor gospodarki i każde rozwiązanie w obszarze dekarbonizacji charakteryzuje się własną dynamiką. Poniżej opisujemy cztery typy inicjatyw, różniące się poziomem i czasem zwrotu z inwestycji (Rysunek 14).

— **Dźwignie uzasadnione ekonomicznie.** Te rozwiązania mają atrakcyjne okresy zwrotu z inwestycji, odpowiednio wysokie wewnętrzne stopy zwrotu (IRR) lub spełniają oba te parametry. Tym samym są atrakcyjne dla racjonalnych uczestników gospodarki.

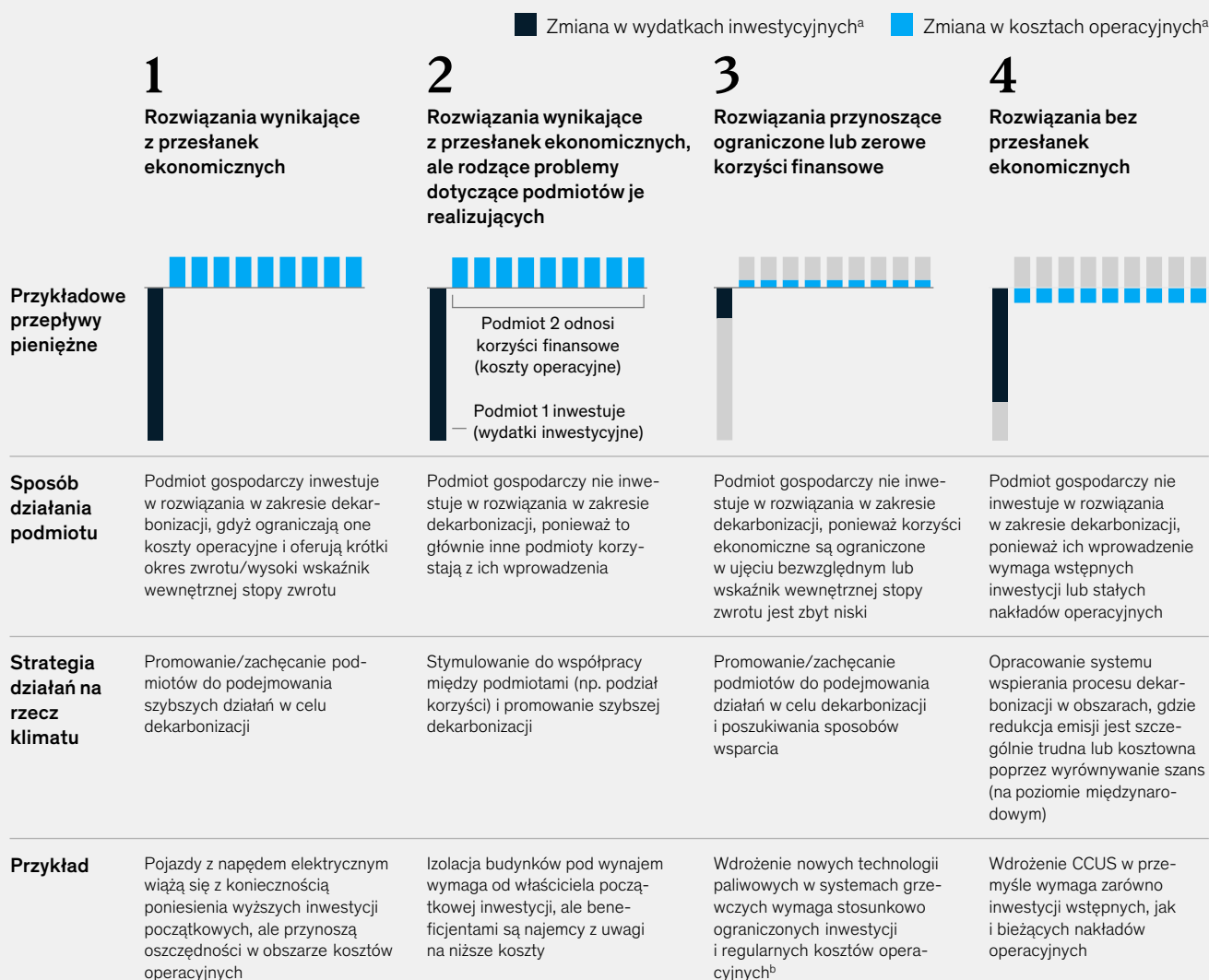
- **Dźwignie uzasadnione ekonomicznie z wieloma zaangażowanymi podmiotami.** Inwestycje w te rozwiązania charakteryzują się dodatnimi stopami zwrotu, ale nakłady są ponoszone przez inne podmioty niż te odnoszące korzyści, co może zmniejszać zachętę do działania.
- **Dźwignie przynoszące ograniczone korzyści finansowe.** Niskie bezwzględne i wewnętrzne stopy zwrotu (IRR) zniechęcają racjonalne podmioty do tego typu działań.
- **Dźwignie pozbawione przesłanek ekonomicznych.** Ponieważ nie

przynoszą oszczędności, nie tworzą zachętę do podejmowania działań.

Oprócz kwestii finansowych związanych z każdym z rozwiązań istnieją także inne istotne czynniki, które mogą dodatkowo komplikować podejmowanie działań na rzecz klimatu. Wśród nich można wymienić względy polityczne (np. punkt widzenia podatników), przepisy prawne, infrastrukturę, łańcuchy dostaw, technologię i sprzeczne interesy gospodarcze (np. konflikty pomiędzy dotychczasowymi uczestnikami rynku a przedstawicielami nowych branż).

Rysunek 14

### Typy rozwiązań w zakresie dekarbonizacji



a. Zmiana w poziomie wydatków inwestycyjnych i kosztów operacyjnych w porównaniu do technologii używanych w modelu tradycyjnym.

b. Ogrzewanie elektryczne w Polsce jest zwykle droższe niż systemy grzewcze opalane węglem lub odpadami.

Źródło: Pion Zrównoważonego Rozwoju McKinsey & Company

## **Konsekwencje dekarbonizacji dla handlu i systemu podatkowego**

Oprócz potencjalnych konsekwencji gospodarczych dla przedsiębiorstw i konsumentów dekarbonizacja będzie miała wpływ również na inne obszary. W tym raporcie przeanalizowaliśmy potencjalne zmiany w bilansie handlowym, które będą wynikać głównie ze zmiany nośników energii, oraz w systemie podatkowym.

### **Potencjalny wpływ dekarbonizacji na bilans handlowy**

Decarbonizacja gospodarki powinna poprawić bilans handlowy Polski ze względu na spadek znaczenia importu paliw kopalnych. Według naszych analiz obecnie deficyt handlowy w kategorii surowców energetycznych sięga 15 mld euro rocznie<sup>56</sup> (Rysunek 15). W modelu bezemisyjnym do 2050 r. ta wartość mogłaby spaść do ok. 3 mld euro rocznie. Wyższy poziom wydatków krajowych zwiększyłby pozytywny wpływ dekarbonizacji na stopę zatrudnienia i koniunkturę, gdyż mnożnik makroekonomiczny niemal wszystkich pozostałych rodzajów działalności gospodarczej prawdopodobnie wygeneruje większy PKB i przyniesie więcej miejsc pracy niż import paliw kopalnych.

### **Potencjalny wpływ dekarbonizacji na system podatkowy**

Ponieważ dekarbonizacja zmienia sposób, w jaki funkcjonują przedsiębiorstwa oraz jak korzystają z produktów i usług, będzie miała ona potencjalnie znaczenie także dla wysokości wpływów do budżetu państwa z tytułu podatków, jeżeli założymy brak zmian w systemie podatkowym. W dłuższej perspektywie dekarbonizacja zapewne pociągnie za sobą zmiany w przepisach podatkowych oraz ich strukturze. Jej potencjalny wpływ można zobrazować na przykładzie sektora transportu.

Inwestycje w infrastrukturę transportową są zwykle finansowane z podatków z tytułu zużycia paliw kopalnych (zob. ramka „Opodatkowanie w transporcie”). Co za tym idzie, wdrożenie rozwiązań bezemisyjnych w transporcie wymusi zmiany w trybie finansowania inwestycji infrastrukturalnych oraz – jeśli powstaną braki – potencjalnie utrudni budowę i utrzymanie jej istotnych elementów. Wśród możliwych sposobów zabezpieczenia finansowego sektora można wymienić zmianę systemu podatkowego w przypadku wszystkich rodzajów paliw (w tym diesla, benzyny, gazu ziemnego, energii elektrycznej i wodoru), z uwzględnieniem zachęt do używania paliw niskoemisyjnych. Inną opcją jest model oparty na opłatach z tytułu dostępu do infrastruktury.

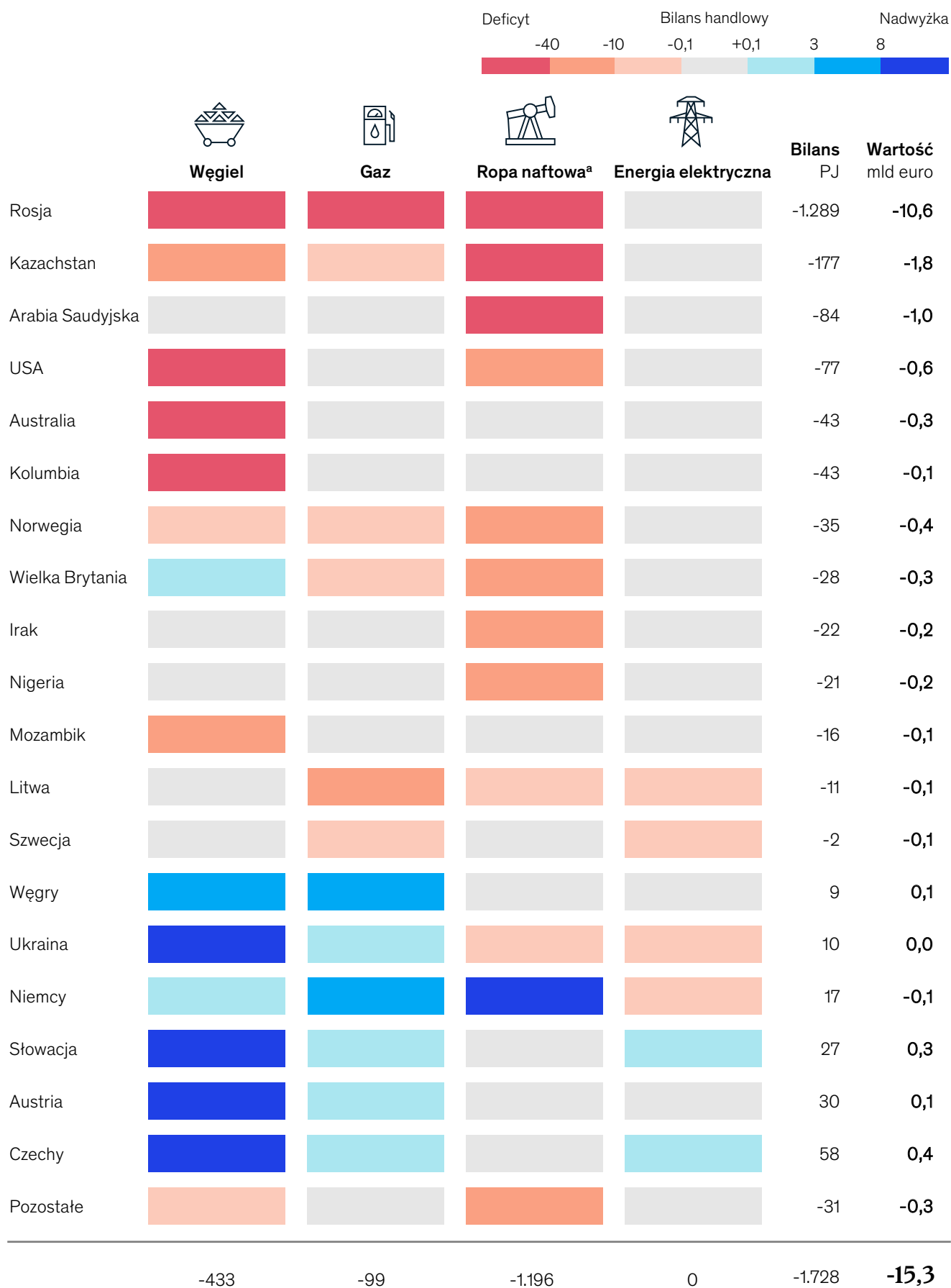
## **Decarbonizacja jako impuls do wzrostu gospodarczego**

Polska ma szansę dodatkowo zwiększyć zatrudnienie i napędzić koniunkturę dzięki przemyślanym inwestycjom. Żeby maksymalnie wykorzystać potencjał i osiągać dalszy wzrost gospodarczy, Polska może rozwijać kilka branż, które umożliwiają dekarbonizację. Wybierając te sektory, warto wziąć pod uwagę szereg czynników, w tym:

- znaczenie w procesie dekarbonizacji,
- atrakcyjność społeczno-gospodarczą, np. wielkość rynku krajowego i rynków państw UE oraz stopę wzrostu, jakość i liczbę potencjalnych miejsc pracy,
- dopasowanie do charakterystyki polskiej gospodarki – możliwości infrastruktury i przewag konkurencyjnych w porównaniu z innymi krajami.

Rysunek 15

## Bilans handlowy Polski w zakresie nośników energii w 2018 r.



a. Oleje ropy naftowej i oleje otrzymywane z minerałów bitumicznych, surowe

Źródło: Baza danych Comtrade 2018

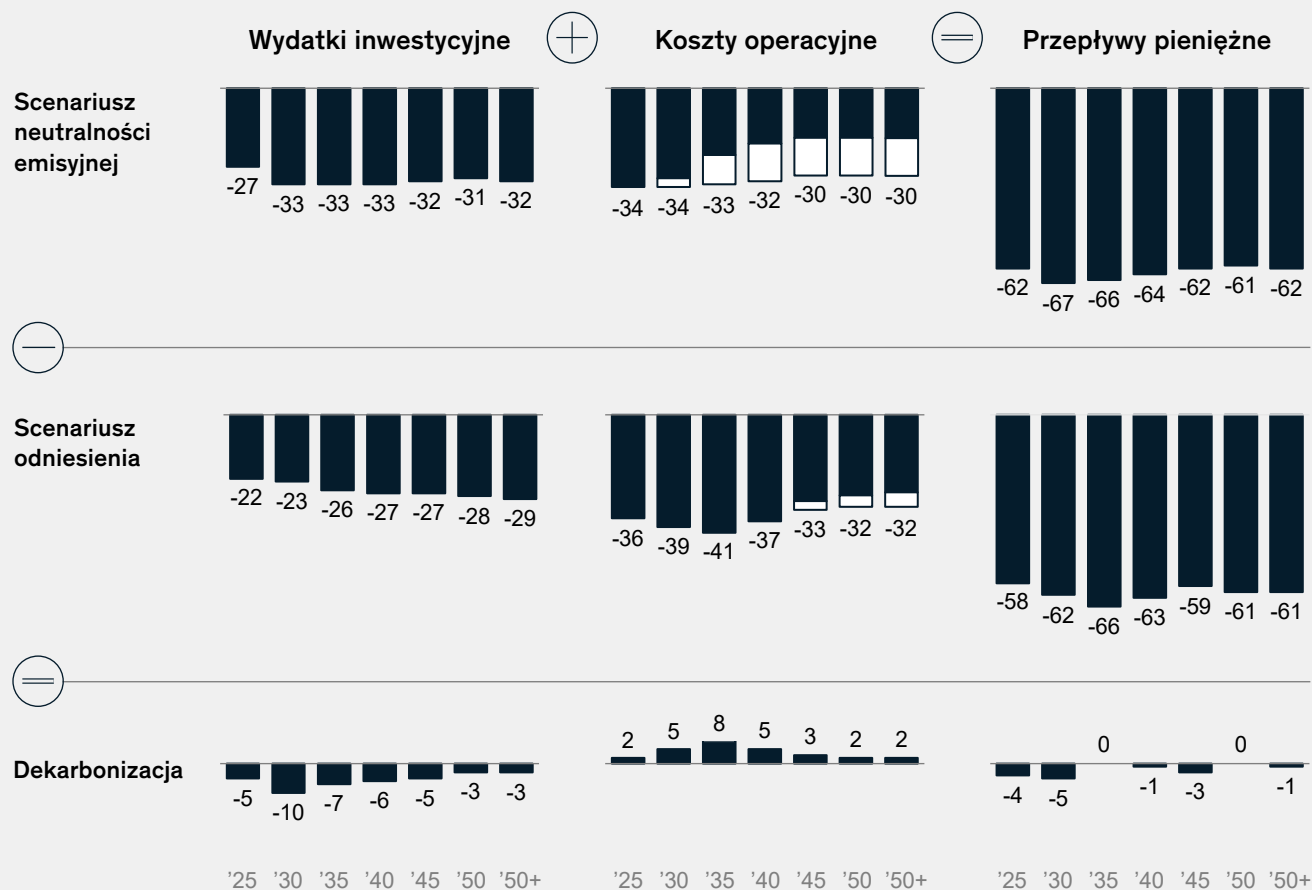
## Potencjalne zmiany w podatkach w sektorze transportu

W 2018 r. do budżetu państwa wpłynęła równowartość 16 mld euro z tytułu akcyzy, podatku VAT i opłaty paliwowej zawartych w cenie paliwa<sup>57</sup>. Elektryfikacja transportu, która odbywałaby się zgodnie z naszym scenariuszem dekarbonizacji, spowoduje, że w porównaniu z rokiem bazowym w 2050 r. do budżetu państwa wpłynie o 13 mld euro mniej z tytułu tych podatków. W przypadku kontynuacji tradycyjnego modelu gospodarki wpływy podatkowe spadałyby wolniej. W 2050 r. różnica wyniosłaby ok. 4,5 mld euro (Rysunek 16).

Teoretycznie, zgodnie z założeniami modelu, wprowadzenie podatku od energii elektrycznej oznaczałoby dla sektora transportu 38-proc. wzrost wydatków operacyjnych. Jednak w porównaniu do scenariusza odniesienia gospodarki scenariusz pełnej dekarbonizacji nadal przyniesie oszczędności w zakresie wydatków na cele operacyjne. Do 2030 r. łączne przepływy pieniężne netto (wliczając podatki) będą ujemne, a po tej dacie będą utrzymywały się na względnie neutralnym poziomie.

Rysunek 16

### Wpływ podatków na korzyści z dekarbonizacji



Podatki związane z paliwami

Uwaga: przy średnim ważonym koszcie kapitału na poziomie 4%. Przy ocenie przepływów pieniężnych po 2050 r. przyjęto prognozowany wskaźnik kosztów operacyjnych na 2050 r., a poziom wydatków inwestycyjnych oparto na wydatkach na inwestycje odtworzeniowe w związku z założeniem, że zmiany w zakresie wdrożenia technologii wspierającej dekarbonizację zachodzą w latach 2030-2050

Źródło: Pion Zrównoważonego Rozwoju McKinsey & Company

# 5

branż ma potencjał rozwoju i może przyczynić się do wzrostu PKB i stworzenia dodatkowych miejsc pracy

## **Potencjalny wzrost PKB i nowe miejsca pracy**

Powstanie lub rozwój sektorów, które umożliwiają dekarbonizację, może zwiększyć PKB kraju i pomóc stworzyć miejsca pracy w dynamicznie rozwijających się sektorach.

Z naszych analiz wynika, że do 2030 r. PKB mógłby się zwiększyć dodatkowo o 10-12 mld euro rocznie (tj. dodatkowe 1-2 proc. PKB). Ten dodatkowy wzrost mógłby wynikać głównie z inwestycji w rozwój morskiej energetyki wiatrowej (4-5 mld euro), sektora produkcji elektrycznych pomp ciepła na skalę przemysłową, a także komponentów do pojazdów elektrycznych (2-3 mld euro każdy). Korzyści mogą być jeszcze większe, jeśli wziąć pod uwagę, że konsumenci związani z rosnącymi branżami będą potencjalnie wydawać więcej pieniędzy w pozostałych sektorach gospodarki<sup>58</sup>.

Według naszych analiz wykorzystanie potencjału związanego z rozwojem wymienionych sektorów może przyczynić się do stworzenia 250-300 tys. dodatkowych miejsc pracy w zaawansowanej produkcji przemysłowej, badaniach i rozwoju czy budownictwie. Wraz z malejącą populacją Polski dostępna siła robocza może zmniejszyć się według naszych analiz o 8 proc. do 2030 r<sup>59</sup>. Dlatego konieczne będą działania wspierające przebranżowianie się i dostosowywanie się do wymagań rozwijających się branż, gdzie będzie mniej pracy fizycznej, w zdrowszych warunkach, ale też więcej lepiej płatnych stanowisk, które będą tworzyć większą wartość dodaną.

Impuls rozwojowy, który mogłaby przynieść dekarbonizacja, byłby szczególnie istotny jako część działań potencjalnie wspierających wychodzenie z okresu spowolnienia gospodarczego związanego z epidemią COVID-19.

## **Rozwój pięciu branż związanych z dekarbonizacją**

Pięć poniższych branż ma potencjał rozwoju. Omawianie ich zaczynamy

od tych, które mogłyby rozwinąć się w Polsce najszybciej.

## **Produkcja komponentów do pojazdów elektrycznych**

Polska ma solidne podstawy, by stać się wiodącym europejskim dostawcą komponentów do pojazdów z napędem elektrycznym. Wynika to z trzech powodów. Po pierwsze, kraj dysponuje stosunkowo dużą pulą odpowiednio wykształconej siły roboczej<sup>60</sup>, np. w 2016 r. studia w zakresie inżynierii ukończyło przeszło 70 tys. osób<sup>61</sup>. Po drugie, przedsiębiorstwa w Polsce mają już solidne relacje z przemysłem motoryzacyjnym w Niemczech oraz w całej Europie – w 2018 r. wartość eksportu komponentów wyniosła 8,2 mld euro<sup>62</sup>. Wreszcie kraj jest korzystnie położony geograficznie, w niewielkiej odległości oraz z łatwym dostępem do głównych montowni w Europie.

Położenie kraju odgrywa szczególnie istotną rolę w produkcji i montażu baterii z uwagi na wysokie koszty ich transportu. Kilku producentów baterii z Azji już zdecydowało się ulokować swój biznes w Polsce. W 2018 r. na Dolnym Śląsku spółka LG Chem otworzyła zakład mogący produkować 20 GWh baterii rocznie, który jest drugą co do wielkości fabryką baterii na świecie. Do 2022 r. planowana jest jej rozbudowa zwiększająca moce produkcyjne ponadtrzykrotnie. Uruchomienie produkcji w Polsce zapowiadało również trzech innych graczy na rynku baterii: Capchem<sup>63</sup>, Guotai Huarong Chemical New Material<sup>64</sup> i SK Innovation<sup>65</sup>.

Szacuje się, że w 2030 r. wartość sektora produkcji baterii do pojazdów elektrycznych w Europie osiągnie 22 mld euro<sup>66</sup>. Jeśli Polsce udałoby się przejąć 20 proc. rynku, mogłoby to oznaczać zagraniczne inwestycje bezpośrednie na poziomie 2,2 mld euro oraz zwiększenie PKB o 2-3 mld euro w skali roku.

By tak się stało, Polska powinna wspierać bezemisyjną produkcję



komponentów, gdyż ten czynnik zyskuje na znaczeniu w procesie wyboru dostawcy. Producenci części samochodowych, dokonując decyzji zakupowych, coraz częściej biorą pod uwagę również ochronę środowiska, w tym poziom emisji gazów cieplarnianych generowanych w procesie produkcji.

### **Rozwój morskiej energetyki wiatrowej na Bałtyku**

Dogodne warunki naturalne powodują, że Polska ma szansę rozwinąć morską energetykę wiatrową<sup>67</sup>. Morze Bałtyckie stwarza ku temu dobre warunki, gdyż charakteryzuje się mocnym i stabilnym wiatrem. Co więcej, około połowy obszaru polskiej wyłącznej strefy ekonomicznej na Bałtyku ma średnią głębokość co najwyżej 50 m<sup>68</sup>. Tym samym koszty budowy i eksploatacji farm wiatrowych są atrakcyjne. Z naszych analiz wynika, że uśredniony koszt energii w 2035 r. osiągnie ok. 40 euro za 1 MWh, podczas gdy średni koszt energii wyniesie wtedy 44 euro za 1 MWh.

Gdy publikowaliśmy ten raport w pierwszej połowie 2020 r., kilku inwestorów miało już pozwolenia na budowę sztucznych wysp, a dwóch zawarło umowy na przyłączenie do sieci energetycznej farm wiatrowych o mocy 2,2 GW<sup>69</sup>. Gdyby udało się zbudować morskie elektrownie wiatrowe o mocy 8 GW, PKB mógłby wzrastać o 4–5 mld euro<sup>70</sup> rocznie. Byłaby również szansa na stworzenie 120–130 tys. miejsc pracy do 2030 r. Co więcej, Polska mogłaby stać się wiodącym producentem i eksporterem elementów morskich farm wiatrowych, wykorzystując potencjał istniejącego przemysłu ciężkiego i relacji z zagranicznymi podmiotami, które posiadają już zakłady produkcyjne na terenie kraju.

### **Produkcja elektrycznych pomp ciepła na skalę przemysłową**

Polska mogłaby wyspecjalizować się w produkcji na skalę przemysłową nisko- i średniotemperaturowych

elektrycznych pomp ciepła, które można wykorzystać w sieciach ciepłowniczych oraz w przemyśle. Wartość rynku pomp ciepła w Polsce szacujemy na 0,5 mld euro w 2030 r<sup>71</sup>. Ponieważ polska sieć ciepłownicza należy do największych w Unii Europejskiej, może wymagać szeroko zakrojonej modernizacji, co niesie za sobą możliwość rozwinięcia tego sektora.

Polska może wykorzystać również istniejące mocne strony, w tym dostęp do inżynierów i ośrodków szkoleniowych, a także bliskość konsumentów. Jeśli sektor produkcji pomp ciepła na skalę przemysłową powstanie odpowiednio wcześniej (przed 2022 r.), kraj ma szansę stać się czołowym eksporterem elektrycznych pomp ciepła w Europie, gdzie wzrost tego rynku może być znaczący. Gdyby w 2030 r. Polska dostarczała 10 proc. europejskich pomp ciepła oraz połowę pomp ciepła stosowanych na rodzimym rynku, oznaczałoby to wpływy na poziomie 4–5 mld euro, a także wzrost PKB o 2–3 mld euro i około 50 tys. nowych miejsc pracy.

### **Rozwiązania w zakresie elektryfikacji rolnictwa**

Kolejny obszar to opracowanie, produkcja i eksport innowacyjnego sprzętu rolniczego z napędem elektrycznym lub wykorzystującego amoniak jako paliwo. Wartość produktów rolniczych w Polsce szacujemy na 24 mld euro<sup>72</sup>, z kolei wartość wykorzystywanego obecnie sprzętu rolniczego to 34 mld euro<sup>73</sup>. Ponieważ rolnictwo w Polsce jest rozdrobnione i w dużej mierze wykorzystuje istniejący sprzęt wysokoemisyjny, wprowadzenie elektrycznych i niskoemisyjnych maszyn rolniczych może drastycznie obniżyć poziom emisji, zwiększając przy tym wydajność.

W 2018 r. wydatki kapitałowe na sprzęt rolniczy w Europie wyniosły 49 mld euro, z czego jedynie ok. 0,4 proc. dotyczyło zakupu

traktorów elektrycznych i innych niskoemisyjnych pojazdów<sup>74</sup>. Zmiany strukturalne w rolnictwie – takie jak poprawa wydajności i wynikające z tego możliwości zalesiania gruntów w celu produkcji biomasy oraz inne względy środowiskowe (np. związane z dobrostanem zwierząt) – mogą spowodować zwiększenie popytu na nowe kategorie maszyn, zarówno w Polsce, jak i Europie. Szacujemy, że do 2030 r. wydatki na tę kategorię produktów w Europie sięgną 15–20 mld euro<sup>75</sup>. Jeśli Polsce udałoby się przejąć 10 proc. rynku, mogłoby to zwiększyć PKB o miliard euro rocznie.

### **Prace badawczo-rozwojowe i wdrażanie technologii CCUS**

Polska ma szansę rozwijać technologie i urządzenia CCUS oraz zająć wiodącą pozycję na rynku bioenergii i pochłaniania emisji. Podstawy do rozwoju sektora CCUS to głównie sprzyjające warunki geologiczne, w tym stosunkowo niewielka odległość między zakładami przemysłowymi a lokalizacjami nadającymi się do składowania dwutlenku węgla, a także znaczne obszary naturalnego składowania dwutlenku węgla. Polska i Europa powinny też tworzyć rozwiązania pozwalające na emisje ujemne, które skompensowałyby trudne do redukcji emisje z przemysłu i rolnictwa. Tylko w Polsce zapotrzebowanie na emisje ujemne w 2050 r. może sięgnąć 37 MtCO<sub>2</sub>e. W kraju mogą powstać systemy składowania dwutlenku węgla blisko zakładów przemysłowych, aby znacznie obniżyć koszty jego transportu. Jednocześnie dzięki rozbudowanym strukturom geologicznym w kraju, mogącym pomieścić ok. 15 Gt CO<sub>2</sub>, będzie możliwe składowanie dwutlenku węgla wyłapywanego przez systemy CCUS przez następne kilkadziesiąt lat. Wykorzystując te naturalne przewagi i inwestując w prace badawczo-rozwojowe w tym obszarze, Polska może stać się ważnym producentem bioenergii.



# Potencjalny plan dekarbonizacji



Dekarbonizacja polskiej gospodarki w perspektywie najbliższych 30 lat to ambitne i niezwykle złożone przedsięwzięcie. W poprzednich rozdziałach szczegółowo omówiliśmy działania, jakie trzeba by wdrożyć, by ten cel osiągnąć oraz przedstawiliśmy potencjalne koszty i korzyści związane z zieloną transformacją. Nakreślenie szczegółowego harmonogramu tak złożonego przedsięwzięcia wykracza poza ramy tego opracowania, w tym rozdziale wskazujemy jednak, jak mógłby wyglądać zarys planu potencjalnych działań.

Plan ten pod względem zaproponowanej chronologii oraz pożądanych efektów spójny jest z wykorzystanym w raporcie modelem dekarbonizacji. W tym rozdziale wskazujemy również kluczowe elementy ekosystemu

dekarbonizacji, inicjatywy, na których warto się skupić, gdyż już teraz są opłacalne z ekonomicznego punktu widzenia, i wreszcie technologie, które pozostaną w fazie prac badawczych przez kolejne 10-15 lat, ale mogą Polsce przynieść korzyści w przyszłości.

## Opracowanie planu dekarbonizacji

Transformacja gospodarki w bezemisyjną wymaga wielu różnych działań, które według rekomendacji należy przeprowadzić w skoordynowany sposób. Niezbędny jest więc plan z podziałem na zadania dla poszczególnych sektorów, przy czym moment rozpoczęcia konkretnych inicjatyw zależy od uwarunkowań biznesowych każdej branży. W naszym modelu dekarbonizacji

zakładamy szybsze wdrażanie technologii, które mogą być opłacalne już teraz, a następnie stopniowe wprowadzanie rozwiązań, które na razie generują wyższe jednostkowe koszty redukcji emisji, ale z czasem powinny stać się bardziej dostępne.

W przypadku większości sektorów dostępne są już technologie, które w ciągu najbliższych lat powinny pozwolić na rozpoczęcie wymiany aktywów, tak by zmniejszyć poziom emisji, a do 2050 r. umożliwić pełną dekarbonizację (Rysunek 17). Wyjątkiem jest przemysł, gdyż technologie CCUS, niezbędne do pełnej dekarbonizacji tego sektora, nie są jeszcze dostępne. Zakładamy jednak, że prace badawczo-rozwojowe w tym obszarze będą kontynuowane i pozwolą zwiększyć opłacalność oraz dostępność rozwiązań CCUS, a także że rozstrzygnięte zostaną kwestie prawne i społeczne związane z ich wykorzystaniem.

Aby pełna dekarbonizacja w 2050 r. była możliwa, już w najbliższym dziesięcioleciu konieczne będą działania w tych sektorach gospodarki, w których dostępne są efektywne kosztowo technologie niskoemisyjne. Chodzi na przykład o modernizację izolacji budynków, elektryfikację transportu miejskiego (np. wprowadzenie elektrycznych autobusów miejskich) i rozbudowę morskich farm wiatrowych na tyle, by mogły wytwarzać 8 GW mocy. W tym samym czasie warto również przygotowywać się do zmian w pozostałych sektorach, np. wprowadzenia na szeroką skalę pojazdów osobowych z napędem elektrycznym, zmian paliw stosowanych w maszynach rolniczych czy wdrożenia niskoemisyjnych rozwiązań w sieci ciepłowniczej.

Scenariusz przedstawiony w tym raporcie zakłada, że w latach 2030-2040 prowadzone już wcześniej działania należy rozszerzyć. Poza tym przewiduje on wdrażanie dodatkowych technologii niskoemisyjnych, np. związanych z pochłanianiem emisji ((BE)CCUS) przy produkcji cementu i wapna czy zastosowaniem

wodoru i biogazu jako paliwa w przemyśle, oraz częściowe zastąpienie energią atomową energii wytwarzanej z paliw kopalnych.

Wreszcie, aby do 2050 r. w pełni zdekarbonizować gospodarkę, należy rozważyć obniżenie emisji w tych obszarach, gdzie jest to najtrudniejsze, np. na szeroką skalę wdrożyć CCUS w przemyśle czy stworzyć w Polsce ekologiczną sieć ciepłowniczą.

## Start procesu dekarbonizacji

Skuteczna dekarbonizacja będzie wymagała opracowania kompleksowego planu, który pomoże różnym branżom wprowadzić zmiany, zyskać zaufanie inwestorów i zapewnić finansowanie inwestycji.

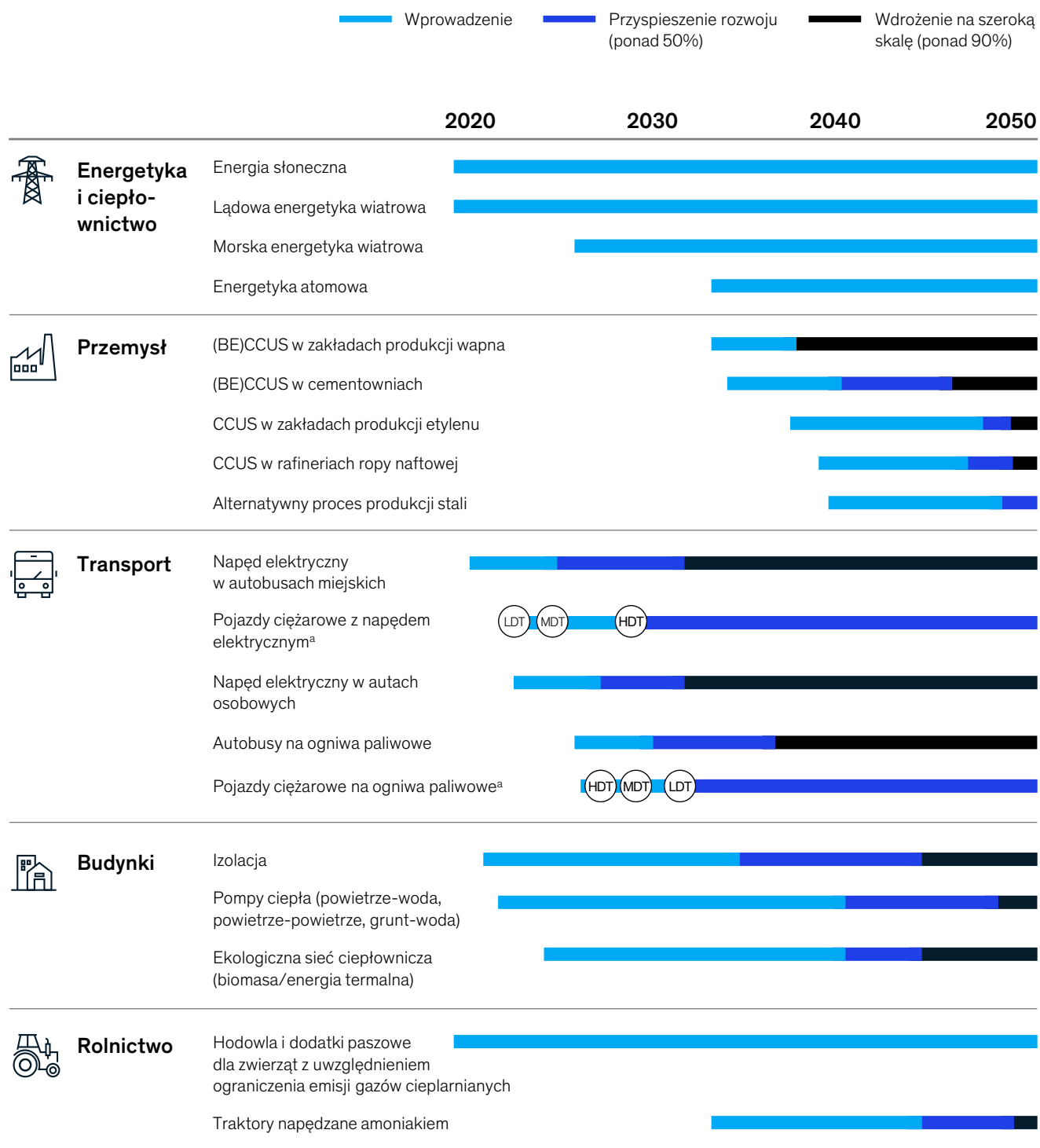
Poza tym zapewne pojawi się potrzeba opracowania planów ramowych finansowania, zapewniających odpowiedni dostęp do kapitału. Konieczne mogą być również zmiany regulacyjne i inne inicjatywy, które pozwolą na zieloną transformację (np. zapewnienie wyszkolonej siły roboczej, wsparcie rozwoju i wdrażania odpowiednich technologii). Tym działaniom powinno towarzyszyć również tworzenie przyjaznego otoczenia biznesowego oraz rozbudowa infrastruktury, która umożliwi wprowadzenie zmian technologicznych.

### Przygotowanie odpowiednich modeli finansowania

Aby zapewnić dostęp do kapitału na finansowanie rozwiązań niskoemisyjnych, można podjąć działania w dwóch głównych obszarach:

- Dostęp do prefinansowania dla podmiotów prywatnych. Biorąc pod uwagę stosunkowo wysokie nakłady początkowe wielu technologii niskoemisyjnych (np. samochody z napędem elektrycznym czy modernizacja izolacji domu) oraz stosunkowo niski poziom oszczędności, jakimi dysponuje przeciętne gospodarstwo domowe w Polsce (18 proc. unijnej średniej<sup>76</sup>), za kluczowe trzeba uznać stworzenie odpowiednich rozwiązań w zakresie finansowania.

## Zarys potencjalnego planu pełnej dekarbonizacji Polski



a. LDT oznacza lekkie pojazdy użytkowe, MDT oznacza średniociężkie pojazdy użytkowe, a HDT oznacza ciężkie pojazdy użytkowe

- Stabilne otoczenie regulacyjne, które będzie przyciągać bezpośrednie inwestycje zagraniczne. Do ich wsparcia może również przyczynić się wyznaczenie jasnych celów dotyczących rozwoju nowych branż oraz wspierające ten rozwój inwestycje w infrastrukturę. Stabilne otoczenie regulacyjne i odpowiednie warunki do inwestowania mogą też przyczynić się do obniżenia ryzyka i kosztów związanych z funkcjonowaniem gospodarki niskoemisyjnej. Jedną z możliwych opcji jest promowanie inwestycji w pojazdy elektryczne poprzez dotacje czy ulgi podatkowe.
- Utworzenie i wspieranie krajowego rynku produktów i usług niskoemisyjnych o wysokiej wartości dodanej (na przykład dzięki opracowywaniu standardów dotyczących maksymalnego poziomu emisji).

#### **Rozwój odpowiednio wykwalifikowanych kadr**

Stosunkowo duża liczba odpowiednio wykształconych pracowników może być ważną przewagą konkurencyjną Polski przyciągającą firmy z branży technologii niskoemisyjnych. Potencjalne działania w tym obszarze obejmują:

- Zachęty dla instytucji akademickich do współpracy z sektorem prywatnym i promowanie kierunków studiów oraz badań, które mają kluczowe znaczenie dla branż niskoemisyjnych.
- Dostosowanie programów nauczania do potrzeb rynku pracy w gospodarce niskoemisyjnej.
- Szkolenie i przekwalifikowanie pracowników wspierające mobilność i rozwój zawodowy.

#### **Przyjazne otoczenie biznesowe**

Odpowiednia strategia może wspierać rozwój branż niskoemisyjnych i ekosystem do dalszych inwestycji. Możliwe inicjatywy do rozważenia:

- Opracowanie, ogłoszenie i realizacja długoterminowej strategii państwa w zakresie wspierania gospodarki niskoemisyjnej, która będzie podstawą do tworzenia szczegółowych regulacji i zachęt.

#### **Wsparcie innowacji i technologii, które mają szansę osiągnąć dużą skalę**

Działania, które mogą pomóc stworzyć w Polsce hub innowacji związanych z technologiami niskoemisyjnymi:

- Rozwój inkubatorów biznesu i instytucji badawczo-rozwojowych we współpracy z uniwersytetami. Może w tym pomóc stworzenie systemu zachęt do inwestowania w innowacje (np. dotacje na B+R dla sektora prywatnego).
- Zachęty dla innowacyjnych przedsiębiorstw z branży technologicznej do rozpoczęcia lub rozszerzenia działalności w Polsce, co może przyczynić się do powstawania miejsc pracy w sektorze zaawansowanych technologii – na przykład dzięki otwieraniu specjalnych stref ekonomicznych.

**Aby do 2050 r. w pełni zdekarbonizować gospodarkę, należy rozważyć obniżenie emisji w tych obszarach, gdzie jest to najtrudniejsze**

- Wspieranie wymiany doświadczeń i współpracy między podmiotami z różnych sektorów w celu stworzenia konkurencyjnego łańcucha dostaw i klastrów branżowych.

### Niezbędna infrastruktura

Odpowiednie inwestycje infrastrukturalne mogą wspierać budowę aktywów niskoemisyjnych. Potencjalne inwestycje mogą dotyczyć poniższych obszarów:

- Rozbudowa sieci elektro-energetycznej dzięki modernizacji istniejącej infrastruktury, wydawanie pozwoleń na budowę nowych linii elektrycznych i inwestycje w interkonektory. Te działania powinny poprawić jakość dostaw z sieci elektroenergetycznej i zapewnić stałe dostawy energii.
- Modernizacja infrastruktury (w tym sieci drogowej, kolejowej i energetycznej), aby ułatwić połączenia z innymi krajami Europy.
- Budowa infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych

i zasilanych ogniwami paliwowymi, aby w przyszłości zaspokoić popyt, wspierać wzrost rynku i zachęcać do inwestowania w komercyjne floty pojazdów elektrycznych.

- Budowa rurociągów przesyłowych CO<sub>2</sub> lub wykorzystanie infrastruktury do przesyłu gazu ziemnego w strategicznie położonych korytarzach, co powinno umożliwić wdrożenie technologii CCUS i wykorzystanie CO<sub>2</sub> w procesach produkcji w przemyśle.

### Wspieranie dekarbonizacji w przyszłości

Transformacja całego systemu gospodarczego związana z dekarbonizacją wymaga wdrażania szeregu działań w odpowiedniej kolejności. Niektóre są gotowe do wdrożenia i opłacalne już dziś. Z drugiej strony, są także inicjatywy, które będą mogły się zmaterializować dopiero w latach 2035-2040, ale już dziś wymagają nakładów na badania

i rozwój technologii. Inwestowanie w nie daje szansę, by Polska stała się jednym z technologicznych liderów dekarbonizującego się świata.

### Działania stosunkowo łatwe do wdrożenia i już dziś opłacalne

Wspólnym mianownikiem tych działań jest obniżanie pierwotnego popytu dzięki wprowadzaniu produktów niskoemisyjnych i promocji gospodarki o obiegu zamkniętym. Żeby to osiągnąć, należałoby zintensyfikować ekonomię współpracy w takich wymiarach jak np. współdzielenie pojazdów osobowych. Współdzielone pojazdy z napędem elektrycznym emitują przez cały okres użytkowania średnio 40 proc. mniej dwutlenku węgla w przeliczeniu na pasażerokilometr niż tradycyjnie używane samochody z silnikiem spalinowym. Tym samym pozwalają zaoszczędzić 15-20 proc. całkowitych kosztów posiadania w przeliczeniu na kilometr. Równie ważne jest szersze wykorzystanie produktów wycofanych z użycia i odpadów. Na



przykład składowanie odpadów organicznych nie na wysypiskach, ale w komorach fermentacyjnych do produkcji biometanu, może pięciokrotnie obniżyć poziom emisji. Innym przykładem jest przerabianie wartościowych produktów, np. maszyn czy urządzeń elektrycznych.

- **Dodanie źródeł odnawialnych do mixsu energetycznego pozwoli sprostać rosnącemu zapotrzebowaniu na energię elektryczną.** Do 2025 r. 30 proc. mixsu energetycznego w Polsce mogą stanowić odnawialne źródła energii, a 20 proc. – niskoemisyjne (np. gaz ziemny), co pozwoliłoby zmniejszyć uzależnienie gospodarki od węgla i obniżyć koszty energii elektrycznej. Ta zmiana byłaby możliwa przy założeniu, że zostaną wprowadzone odpowiednie polityki i regulacje dotyczące OZE. Co więcej, bloki w elektrowniach węglowych, które osiągną koniec

okresu eksploatacji, mogą być zastępowane energią odnawialną, której uśredniony koszt jest niższy.

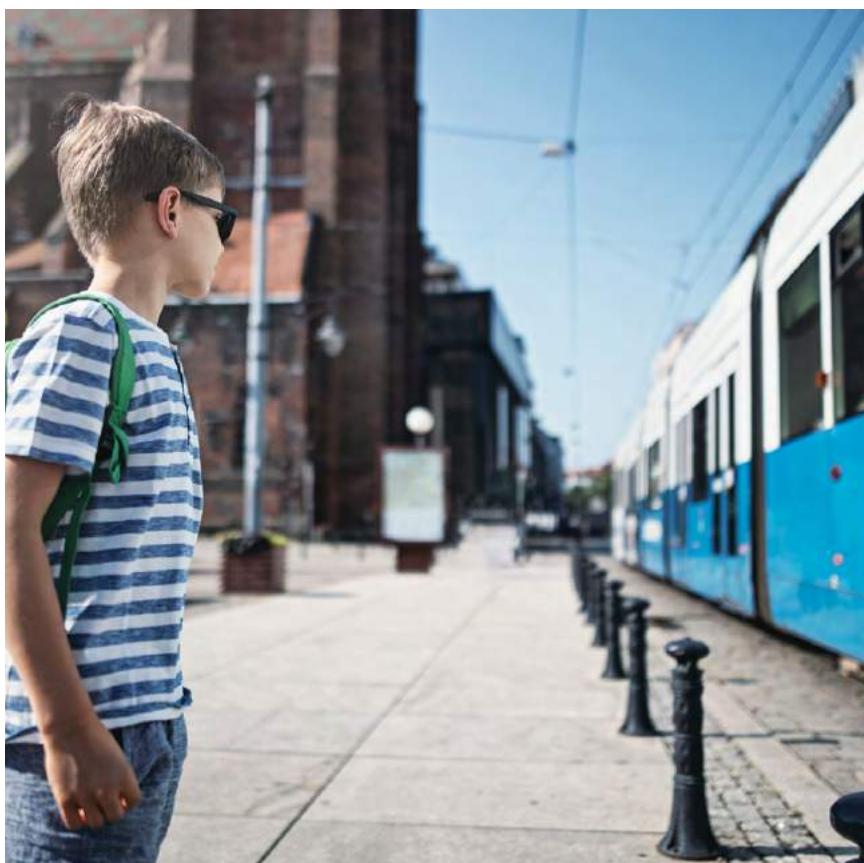
- **Zapewnienie infrastruktury do elektryfikacji środków transportu umożliwi płynne wdrożenie niskoemisyjnych rozwiązań w mobilności.** Przyspieszenie tempa rozbudowy punktów ładowania pojazdów elektrycznych może sprawić, że do 2025 r. 10 proc. pojazdów zostanie zastąpionych pojazdami elektrycznymi, co znacznie ograniczy emisje.
- **Poprawa efektywności energetycznej przemysłu i budynków oraz przygotowanie biznesplanu do wprowadzania nowych technologii.** W przemyśle warto rozważyć szersze zastosowanie paliw alternatywnych (wodór, biomasa i energia elektryczna). Jeśli chodzi o budynki, warto dostosować regulacje dotyczące nowo powstających obiektów,

a istniejące budynki o słabej izolacji i najwyższym zapotrzebowaniu na energię modernizować tak, by spełniały najnowsze standardy. Inną możliwością jest wyeliminowanie niskiej jakości paliw stałych (np. odpady), a systemy ogrzewania opalane węglem (takie jak piece) zastąpić rozwiązaniami bezemisyjnymi (np. elektrycznymi pompami ciepła).

### **Inwestycje w przyszłość**

Dzięki inwestycjom długoterminowym można elastycznie wykorzystać potencjał dekarbonizacji. Tego rodzaju nakłady mogą być niewielkie, ale jeśli opracowane rozwiązania zostaną wdrożone na odpowiednią skalę, mogą przynieść duże zwroty.

- **Modernizacja i rozbudowa infrastruktury energetycznej, aby umożliwić wdrożenie niskoemisyjnych rozwiązań w energetyce, ciepłownictwie i transporcie.** Już na etapie





- planowania inwestycji w sieć przesyłową i dystrybucyjną warto uwzględnić kształt przyszłego mixu energetycznego, tak by zwiększać udział energii ze źródeł odnawialnych i sprostać rosnącemu ze względu na elektryfikację popytowi.
- **Redukcja emisji z produkcji przemysłowej** dzięki wprowadzaniu alternatyw niskoemisyjnych, takich jak cement bezemisyjny lub pochłaniający dwutlenek węgla, biopaliwa lub paliwa syntetyczne dla transportu morskiego i lotniczego czy białka roślinne zastępujące mięso.
  - **Przygotowanie do wykorzystania na odpowiednią skalę technologii CCUS** dzięki pracom badawczo-rozwojowym oraz programom wdrożeniowym i pilotażowym. Chodzi między innymi o wsparcie badań nad CCUS, w tym opracowanie produktów opartych na CO<sub>2</sub>, takich jak paliwa syntetyczne, we współpracy z innymi krajami europejskimi. Co więcej, programy pilotażowe mogą ułatwić rozwój technologii CCUS, pozwolić na gromadzenie doświadczenia i systematycznie obniżać jej koszty.
  - **Ochrona i rozszerzenie obszarów, które w naturalny sposób pochłaniają dwutlenek węgla.** Emisje, które najtrudniej wyeliminować, można kompensować dzięki efektywniejszej gospodarce leśnej. Chodzi m.in. o zwiększanie powierzchni pochłaniaczy dwutlenku węgla, co przyczynia się również do ochrony różnorodności biologicznej, wsparcie agroleśnictwa (redukcja erozji gleby, zwiększanie różnorodności biologicznej gleb) oraz zalesianie obszarów o niskim potencjale rolnym.



Dekarbonizacja gospodarki do 2050 r. to olbrzymie przedsięwzięcie, które – jeśli Polska się na nie zdecyduje – będzie wymagało zaangażowania sektora publicznego, biznesu i całego społeczeństwa. Dotknie wielu dziedzin życia i pięciu gałęzi gospodarki. Z przedstawionych w tym raporcie szacunków wynika jednak, że osiągnięcie tego celu jest możliwe, a nawet może być opłacalne.

Mamy nadzieję, że niniejszy raport może uporządkować i poszerzyć wiedzę o potencjalnej dekarbonizacji kraju. Przedstawiliśmy w nim fakty dotyczące stanu obecnego, szacunki kosztów, kompromisy, z którymi trzeba się liczyć, oraz potencjalne korzyści w całym łańcuchu wartości. W stale zmieniającej się rzeczywistości taki zestaw analiz może pomóc podjąć odpowiednie decyzje i rozpocząć działania.

## Załącznik A: Przegląd stosowanych skrótów

BAU	Scenariusz tradycyjnego modelu gospodarczego
(BE)CCUS	Bioenergia z wychwytywaniem, wykorzystaniem i składowaniem dwutlenku węgla
BEV	Pojazd elektryczny o napędzie akumulatorowym
BF–BOF	Wielki piec i konwertor tlenowy
CCUS	Wychwytywanie, wykorzystanie i składowanie dwutlenku węgla
CHP	Elektrociepłownia (zakład kogeneracyjny)
CO <sub>2</sub>	Dwutlenek węgla
CO <sub>2</sub> e	Ekwiwalent dwutlenku węgla
DAC	Bezpośrednie wychwytywanie dwutlenku węgla z powietrza
DPO	Optymalizator ścieżki dekarbonizacji
DRI–EAF	Metoda wytopu stali w piecu łukowym
EEF	Nawóz o zwiększonej efektywności
FC	Zasilane ogniwoami paliwowymi
FCEV	Pojazd elektryczny zasilany ogniwoami paliwowymi
GHG	Gazy cieplarniane
GJ	Gigadzul (1 000 000 dżuli)
GW	Gigawat (1 000 MW)
GWh	Gigawatogodzina (1 000 MWh)
H <sub>2</sub>	Wodór
HDT	Ciężkie pojazdy użytkowe (o masie powyżej 15 ton)
HEV	Elektryczny pojazd hybrydowy
ICE	Pojazd z napędem spalinowym
J	Dżul
kWh	Kilowatogodzina
LDT	Lekki pojazd użytkowy (o masie poniżej 5 ton)
LNG	Ciekły gaz ziemny
LULUCF	Działalność związana z użytkowaniem gruntów, zmianą użytkowania gruntów i leśnictwem
MACC	Krzywa kosztów krańcowych redukcji emisji
MDT	Średnio ciężkie pojazdy użytkowe (o masie między 5 a 15 ton)
Mt	Megatona (1 000 000 ton)
MW	Megawat (1 000 kW)
MWh	Megawatogodzina (1 000 kWh)
N <sub>2</sub> O	Tlenek azotu
O&M	Eksploatacja i utrzymanie
PHEV	Pojazd hybrydowy typu plug-in
PJ	Petadzule (0,278 TWh)
OZE	Odnawialne źródła energii
SRF/CRF	Nawozy o spowolnionym i kontrolowanym sposobie uwalniania składników
SMR	Reforming parowy gazu ziemnego
TCO	Całkowity koszt posiadania
t	Tona (1 000 kg)
TWh	Terawatogodzina (1 000 GWh)
UE ETS	Unijny system handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych (dotyczy cen europejskich limitów spalin)
WACC	Średni ważony koszt kapitału

## Załącznik B: Metodologia

### Zakres raportu

W niniejszym raporcie przedstawiamy perspektywę gospodarczą opracowaną na podstawie prognozowanego rozwoju. Tam, gdzie to możliwe, nasza perspektywa opiera się na uznanych, powszechnie dostępnych źródłach (na przykład bazach danych GUS oraz publikacjach wydanych przez polski rząd i przedstawiciele największych polskich spółek i organizacji pozarządowych związanych z sektorem energetyki). Źródła te uzupełniliśmy o dane pochodzące z opracowań własnych, m.in. Global Energy Perspective.

Naszym celem nie jest proponowanie ani zalecanie konkretnego rozwiązania, ale przeanalizowanie, jakie skutki pociąga za sobą zastosowanie wybranych środków w drodze do pełnej dekarbonizacji polskiej gospodarki. Niniejszy raport nie stanowi także opracowanej przez McKinsey prognozy czy też wskazówek w zakresie przepisów prawnych.

### Zastosowane modele

W naszej analizie wykorzystaliśmy własne narzędzie do modelowania procesu dekarbonizacji – Optymalizator ścieżki dekarbonizacji (DPO). DPO to narzędzie, które pozwala na ustandaryzowane podejście do strategii dekarbonizacji dla kraju i przemysłu, które znalazło dotychczas zastosowanie w wielu analizach McKinsey<sup>77</sup>. Model pozwala znaleźć odpowiedź na dwa istotne pytania: Jak Polska może przeprowadzić proces dekarbonizacji w sposób najbardziej efektywny kosztowo? Jaki będzie koszt dekarbonizacji Polski?

Kolejnym narzędziem, które zastosowaliśmy, jest model elastyczności sieci. Służy on do modelowania efektów

zwiększenia mocy wytwórczych przy możliwie najniższych nakładach inwestycyjnych i najtańszych działaniach operacyjnych w określonym czasie realizacji inwestycji, biorąc pod uwagę ograniczenia płynące z technologii i regulacji prawnych. Ten model pozwala znaleźć odpowiedź na pytania o to, jaki wpływ na ewolucję sieci ma transformacja energetyczna, w tym przepisy, zalecenia, koszty czy technologie oraz jaką rolę pełnią elastyczne rozwiązania, takie jak hydroenergetyka, magazynowanie energii, wodór czy rozwiązania konwersji energii w gaz (P2G).

### Krzywa kosztów krańcowych redukcji emisji (MACC)

Krzywa kosztów śladowej redukcji emisji (MACC) to jeden z rezultatów uzyskanych w wyniku wykorzystania DPO. MACC to standardowe narzędzie, które ilustruje rozwiązania pozwalające na redukcję emisji m.in. gazów cieplarnianych. Co więcej, MACC tworzy wizualizacje wybranych technologii i paliw, które mają za zadanie ograniczyć poziom emisji.

Każda z kolumn przedstawia jedną konkretną zmianę w obszarze stosowanej technologii lub paliwa, która prowadzi do redukcji emisji. Krzywa obrazuje, jaki poziom redukcji można osiągnąć przy założonym koszcie. Szerokość każdej kolumny przedstawia poziom redukcji emisji CO<sub>2</sub> w skali roku osiągnięty w wyniku zastosowania danego rozwiązania do 2050 r. w porównaniu do poziomu z roku 2017. Wysokość każdej kolumny przedstawia z kolei średni koszt redukcji jednej tony CO<sub>2</sub>. Kolumny przedstawiają wszystkie środki od najbardziej ekonomicznego do najdroższego, według wyrażonego w euro kosztu za tonę redukcji emisji CO<sub>2</sub>.

## Załącznik C: Podstawowe założenia według branż

Ten załącznik opisuje kluczowe założenia dotyczące modelowania. Większość danych źródłowych pochodzi ze źródeł powszechnie dostępnych. Dla potrzeb analizy przyjęliśmy szereg założeń i zbadaliśmy, w jaki sposób potencjalnie zmieni się zestaw dostępnych technologii w każdym sektorze. Poniżej wyjaśnimy założenia dla każdego sektora.









### Energetyka

W naszym modelu analitycznym przyjęliśmy następujące założenia (Rysunek 19):

- Maksymalna moc wytwórcza morskich elektrowni wiatrowych wyniesie 45 GW do 2050 r.
- Maksymalna moc wytwórcza lądowych elektrowni wiatrowych wyniesie 100 GW do 2050 r.
- Energia ze źródeł odnawialnych będzie stanowić 21 proc. do 2030 r.<sup>78</sup>
- Ograniczenia w zakresie celów emisji CO<sub>2</sub>: 100 proc. dekarbonizacji do 2050 r. i 45-proc. obniżenie emisji do 2030 r. w porównaniu z rokiem 1990.
- Minimalne zwiększenie mocy wytwórczych z atomu wraz z wyznaczonym przez rząd celem około sześciu jednostek w okresie od roku 2033 do 2050.

Rysunek 18

### Kluczowe założenia dotyczące modelowania

Źródła energii	Cykl życia Lata	Wydatki inwestycyjne Tys. euro/MW zainstalowanej			Stale koszty eksploatacji i utrzymania Euro/MW zainstalowanej/ rocznie			Cena paliwa Euro/GJ		
		2020	2035	2050	2020	2035	2050	2020	2035	2050
 Energia słoneczna	25	900	300	200	7.400	6.000	5.100			
 Morska energetyka wiatrowa	25	2.500	1.600	1.400	73.000	55.000	50.000			
 Lądowa energetyka wiatrowa	25	1.200	1.000	900	25.000	21.000	20.000			
 Energetyka atomowa	50	6.000	5.700	5.100	38.000	38.000	38.000	0,5	0,5	0,5
 Biomasa	20	2.400	2.000	1.800	83.000	71.000	65.000	15	15	15
 Gaz – turbina gazowa o cyklu łączonym	25	900	900	900	18.000	18.000	18.000	7	7	5
 Węgiel brunatny	35	1.600	1.600	1.600	30.000	30.000	30.000	2	2	1
 Węgiel	35	1.400	1.400	1.400	31.000	31.000	31.000	3	3	2

## Przemysł

W naszym modelu analitycznym przyjęliśmy następujące założenia:

- Nie wszystkie sprzęty i procesy można poddać dekarbonizacji przy pomocy wprowadzenia energii elektrycznej (na przykład piece cementowe trzeba nagrzać do temperatury wyższej niż 1400°C).
- W latach 2030-2050 należy spodziewać się cen energii elektrycznej na poziomie 30-50 euro za 1 MWh.
- Ilość CO<sub>2</sub> generowanego z amoniaku przy produkcji mocznika utrzyma się na poziomie z 2019 r.
- Czysty wodór zakupiony ze źródeł zewnętrznych utrzymuje się na

ograniczonym poziomie 5 proc. całkowitego zapotrzebowania produkcyjnego.

- Nafta pozostanie głównym surowcem w produkcji etylenu, ponieważ zastąpienie jej w tym procesie etanem wpłynie na obniżenie produkcji innych wartościowych związków chemicznych.
- Nie bierzemy pod uwagę technologii bezpośredniej separacji w produkcji cementu (oznacza to, że technologia CSS musi dotyczyć zarówno energii, jak i emisji z procesów produkcji).

## Transport





W naszym modelu analitycznym przyjęliśmy następujące założenia:

- Baterię w elektrycznych samochodach osobowych należy wymienić raz w okresie ich użytkowania.
- Import aut używanych utrzyma się na poziomie z 2019 r. (ze stopniowym przejściem do pojazdów elektrycznych).
- Średni wiek importowanych pojazdów elektrycznych wyniesie od siedmiu do ośmiu lat, tuż przed planowaną wymianą baterii.
- Wymiana baterii w importowanych pojazdach elektrycznych będzie przeprowadzana w Polsce.
- W 2050 r. po drogach nadal będzie poruszać się co najmniej 5 proc. aut ciężarowych z silnikiem spalinowym.

Rysunek 19

## Szczegółowe założenia dotyczące transportu

Żywotność każdego typu pojazdu w latach

Rodzaj pojazdu		Żywotność
 Auto osobowe		14
 Lekki pojazd użytkowy	Długodystansowy	7
	Regionalny	9
	Miejski	11
 Średnio ciężki pojazd użytkowy	Miejski	11
	Regionalny	9
	Długodystansowy	7
 Ciężki pojazd użytkowy	Miejski	8
	Regionalny	7
	Długodystansowy	6

**Szczegółowe założenia dotyczące transportu**

Auta osobowe, benzynowe elektryczne i z ogniwami paliwowymi

Rodzaj paliwa	Nakłady inwestycyjne Tys. euro/pojazd			Koszty operacyjne Euro/km		
	2020	2035	2050	2020	2035	2050
Benzyna A/B	13,4	13,5	13,5	0,1	0,1	0,1
Benzyna C/D	22,1	23,8	23,8	0,1	0,1	0,1
Benzyna E/F	55,7	59,4	59,4	0,1	0,1	0,1
Benzyna J	31,0	33,3	33,3	0,2	0,2	0,1
Elektryczne A/B	16,4	13,4	13,4	0,0	0,0	0,0
Elektryczne C/D	29,2	23,8	23,8	0,0	0,0	0,0
Elektryczne E/F	68,8	62,5	62,5	0,0	0,0	0,0
Elektryczne J	46,6	37,5	37,5	0,0	0,0	0,0
Ogniwo paliwowe A/B	33,4	26,6	26,6	0,3	0,1	0,1
Ogniwo paliwowe C/D	54,5	43,4	43,4	0,3	0,1	0,1
Ogniwo paliwowe E/F	134,3	107,1	107,1	0,4	0,2	0,2
Ogniwo paliwowe J	59,7	47,5	47,5	0,4	0,2	0,2
Diesel A/B	14,3	15,8	15,8	0,1	0,1	0,1
Diesel C/D	24,7	27,1	27,1	0,1	0,1	0,1
Diesel E/F	59,3	64,4	64,4	0,1	0,1	0,1
Diesel J	34,1	37,3	37,3	0,1	0,1	0,1

**Budynki**

W naszym modelu analitycznym przyjęliśmy następujące założenia:

- Energia z biomasy może w 66 proc. zastąpić energię generowaną przez elektrociepłownię.
- Izolacja lekka to koszt rzędu 3600 euro w przypadku mieszkań i 7200 euro w przypadku domów, a zastosowanie tego rozwiązania obniża o 25 proc. zapotrzebowanie na ciepło i może być zastosowane nawet w 40 proc. wszystkich budynków.
- Głęboka izolacja kosztuje 9000 euro w przypadku mieszkań

i 18 000 euro w przypadku domów, a zastosowanie tego rozwiązania obniża o 50 proc. zapotrzebowanie na ciepło i może być zastosowane nawet w 40 proc. wszystkich budynków.

- Pompy ciepła typu powietrze-powietrze można zastosować maksymalnie w 20 proc. mieszkań.

**Rolnictwo**

W naszym modelu analitycznym przyjęliśmy następujące założenia:

- Maksymalnie 54 proc. rolników może wdrożyć technologie obniżania emisji powstałych wskutek fermentacji jelitowej.

Do 2050 r. w maszynach rolniczych można zastosować maksymalnie 60-proc. domieszkę amoniaku.

Elektryczne maszyny rolnicze mają wyższe ogólne koszty posiadania niż sprzęt wykorzystujący domieszkę amoniaku.

Metody płytkiej orki pozwalają obniżyć o 43 proc. poziom emisji w porównaniu do tradycyjnej orki.

Optymalizacja nawożenia gleby pozwala obniżyć o 33 proc. poziom emisji w porównaniu do tradycyjnych metod nawożenia.

Nie istnieje obecnie technologia, która pozwala wyeliminować emisje bezpośrednie.

## Załącznik D: Bibliografia

- Agencja Rynku Energii, Biuletyn sektora energetycznego, Biuletyn kwartalny (nr. 4/105) (2019), are.waw.pl
- ArcelorMittal, „Raport zrównoważonego rozwoju ArcelorMittal Poland 2016”, 16 sierpnia 2017 r., poland.arcelormittal.com.
- Bain, S. (red.), Global peatland restoration demonstrating success, Komitet Krajowy Zjednoczonego Królestwa IUCN, marzec 2014 r., iucn-uk-peatlandprogramme.org.
- Bank Światowy, PKB (bieżący w dolarach amerykańskich), data.worldbank.org
- Chorzelski, M. (red.), „Chances for Polish district heating systems”, Energy Procedia, Tom 116, czerwiec 2017 r., s. 106-18, sciencedirect.com.
- Curry, Claire, „Lithium-ion battery costs and market”, Bloomberg New Energy Finance, 5 lipca 2017 r., data.bloomberglp.com
- Dorociak, Michał; Tomecki, Maciej, Wodorowa alternatywa, 2019, static.300gospodarka.pl/media/2019/04/alternatywa\_wodorowa\_raport.pdf300gospodarka.pl
- Europejskie Stowarzyszenie Producentów Samochodów, „Vehicles in use: Europe 2017”, dostęp 18 marca 2020 r., acea.be
- Europejski Instytut Miedzi, „Stan i potrzeby rozwojowe sieci elektroenergetycznych w procesie transformacji niskoemisyjnej w Polsce (2017)”, leonardo-energy.pl/wp-content/uploads/2017/03/EIM6106-Stani-potreby-rozwojowe-sieci-elektroenergetycznychw-procesie-transformacji-niskoemisyjnej-w-Polsce.pdf
- Eurostat, „Real GDP growth rate – volume”, dostęp 18 marca 2020 r., ec.europa.eu
- Extension, „Biochar: Prospects of commercialization”, 3 kwietnia 2019 r., farm-energy.extension.org
- Forum Energii, Transformacja energetyczna w Polsce, 2019, forum-energii.eu/pl/analizy/transformacja-2019
- Fundacja na rzecz Energetyki Zrównoważonej, „Program rozwoju morskiej energetyki i przemysłu morskiego w Polsce”, 2018, beif.pl
- Główny Urząd Statystyczny, „Zużycie paliw i nośników energii” (2006-2018), stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/zuzycie-paliw-i-nosnikow-energii-w-2018-roku,6,13.html
- Główny Urząd Statystyczny, „Energia” (2019), stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/energia-2019-folder,1,7.html
- Główny Urząd Statystyczny, „Zużycie energii w gospodarstwach domowych” (2015), stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/zuzycie-energii-w-gospodarstwach-domowych-w-2015-r-,2,3.html
- Główny Urząd Statystyczny, „Użytkowanie gruntów i powierzchnia zasiewów” (2018), stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rolnictwo-lesnictwo/rolnictwo/uzytowanie-gruntow-i-powierzchnia-zasiewow-w-2018-roku,8,14.html
- Główny Urząd Statystyczny, „Transport drogowy w Polsce w latach 2016 i 2017” (2017), stat.gov.pl/obszary-tematyczne/transport-i-lacznosc/transport/transport-drogowy-w-polsce-w-latach-2016-i-2017,6,5.html
- Główny Urząd Statystyczny, „Transport – wyniki działalności” (2018), stat.gov.pl/obszary-tematyczne/transport-i-lacznosc/transport/transport-wyniki-dzialalnosci-w-2018-roku,9,18.html
- Główny Urząd Statystyczny, „Rocznik Statystyczny Rolnictwa (2018), stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyczny-rolnictwa-2018,6,12.html
- Główny Urząd Statystyczny, „Rocznik Statystyczny Leśnictwa” (2018), stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyczny-lesnictwa-2018,13,1.html
- IBS, „Transformacja węglowa w Polsce (2018)”, iddri.org/sites/default/files/PDF/Publications/Catalogue%20Iddri/Rapport/201706-iddri-climatestrategies-reportcoal\_pl.pdf

Instytut Transportu Samochodowego, Zakład Badań Ekonomicznych, Prognozy eksperckie zmian aktywności sektora transportu drogowego (w kontekście ustawy o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji) (2017), [gov.pl/web/infrastruktura/opracowania-eksperckie](http://gov.pl/web/infrastruktura/opracowania-eksperckie)

Klimat dla Polski – Polska dla klimatu, Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, dostęp 28 marca 2020 r., [ios.edu.pl](http://ios.edu.pl)

Krajowy raport inwentaryzacyjny 2019, Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE), 2019, [kobize.pl](http://kobize.pl)

Kay, Sonja (red.), „Agroforestry creates carbon sinks whilst enhancing the environment in agricultural landscapes in Europe”, *Land Use Policy*, Tom 83, kwiecień 2019 r., s. 581-93, [sciencedirect.org](http://sciencedirect.org)

Keith, -David W. (red.), „A process for capturing CO<sub>2</sub> from the atmosphere”, *CellPress*, Tom 2, Numer 8, 15 sierpnia 2018 r., s. 1573-94, [sciencedirect.org](http://sciencedirect.org)

Marcysiak, Adam (red.), „Zarządzanie majątkiem jednostek gospodarczych o różnym potencjale ekonomicznym”, 2018, [sj.wne.sggw.pl](http://sj.wne.sggw.pl)

Ministerstwo Gospodarki i Pracy, Polityka energetyczna Polski do roku 2025 (2005), [prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WMP20050420562/O/M20050562.pdf](http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WMP20050420562/O/M20050562.pdf)

Ministerstwo Energii, „Polityka energetyczna Polski do 2040 r.” (2019), „Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030”, Ministerstwo Aktywów Państwowych, 4 stycznia 2019 r. [ec.europa.eu](http://ec.europa.eu)

Ministerstwo Energii, „Program dla sektora górnictwa węgla brunatnego w Polsce” (2018), [gov.pl/web/aktywa-panstwowe/rada-ministrow-przyjela-program-dla-sektora-gornictwa-wegla-brunatnego-w-polsce](http://gov.pl/web/aktywa-panstwowe/rada-ministrow-przyjela-program-dla-sektora-gornictwa-wegla-brunatnego-w-polsce)

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, „Naukowcy z PAN prognozują: za kilkadziesiąt lat z polskich lasów może zniknąć 75 proc. drzew”, 9 kwietnia 2019 r., [gov.pl](http://gov.pl)

Oclifescience, „Is biochar a carbon sink so effective that it is said?”, dostęp 18 marca 2020 r., [pl.oclifescience.com](http://pl.oclifescience.com)

Polska Organizacja Rozwoju Technologii Pomp Ciepła, „Rynek pomp ciepła w Polsce w latach 2010-2018. Perspektywy rozwoju rynku pomp ciepła do 2030 roku”, maj 2019 r., [portpc.pl](http://portpc.pl)

Polskie Sieci Elektroenergetyczne, „Raport KSE 2018”, dostęp 18 marca 2020 r., [pse.pl](http://pse.pl)

Polskie Stowarzyszenie Paliw Alternatywnych, „V2G. Pojazdy elektryczne jako element sieci elektroenergetycznych”, 2018, [pspa.com.pl](http://pspa.com.pl)

Poore, J. (red.), „Reducing food’s environmental impacts through producers and consumers”, *Science*, Tom 360, Numer 6392, 1 czerwca 2018 r., s. 987-92, [sciencemag.org](http://sciencemag.org)

PZPM, „Raport branży motoryzacyjnej 2019/2020”, 18 lipca 2017 r., [pzpm.org.pl](http://pzpm.org.pl)

„The transformation of the Polish coal sector”, pobrano ze strony International Institute for Sustainable Development, 2018, [iisd.org](http://iisd.org)

Transport & Environment, „Electric surge: Carmaker’s electric car plans across Europe 2019-2025”, lipiec 2019 r., [transportenvironment.org](http://transportenvironment.org)

Urząd Regulacji Energetyki, „Licensed enterprises”, 2017, [ure.gov.pl](http://ure.gov.pl)

Werner, Sven, „International review of district heating and cooling”, *Energy*, Tom 137, 15 października 2017 r., s. 617-31, [sciencedirect.com](http://sciencedirect.com)

Wind Europe, „Offshore Wind in Europe: Key trends and statistics”, dostęp 18 marca 2020 r., [windeurope.org](http://windeurope.org)

Wspólne Centrum Badawcze (JRC) i dział naukowy Komisji Europejskiej, Wind potentials for EU and neighbouring countries, 2018, [publications.jrc.ec.europa.eu](http://publications.jrc.ec.europa.eu)



# Przypisy

- 1 World Bank, baza danych, dostęp 2019 r., <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD>
- 2 Obliczenia McKinsey na podstawie danych KOBiZE, Krajowy Raport Inwentaryzacyjny 2019, Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce 1988-2017, Warszawa 2019 r., [kobize.pl](http://kobize.pl)
- 3 PGIE, Nasłonecznienie, dostęp 2020, 2020 <http://www.pgie.pl/naslonecznienie/>
- 4 Ekwiwalent dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>e) to ilość, która opisuje emisje gazów cieplarnianych (lub mieszanki gazów) wyrażone za pomocą ilości CO<sub>2</sub>, która ma taki sam potencjał tworzenia efektu cieplarnianego (np. 1 tona metanu ma taki sam potencjał tworzenia efektu cieplarnianego jak 28 ton CO<sub>2</sub>)
- 5 McKinsey & Company, „Addressing climate change in a post-pandemic world”, 2020, <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/addressing-climate-change-in-a-post-pandemic-world>
- 6 Andrew Winston, „Is the COVID-19 outbreak a black swan or the new normal?”, MIT Sloan Management Review, marzec 16, 2020 r. oraz Rob Jordan, „How does climate change affect disease?”, Stanford Earth, School of Earth, Energy & Environment, 15 marca 2019 r.
- 7 PSE, KSE 2018 report, dostęp 24 marca 2020 r., [pse.pl](http://pse.pl); ARE S.A., „Statystyka elektroenergetyki polskiej 2018”; and GUS, „Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2017 i 2018”, Warsaw 2019, [stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/gospodarka-paliwowo-energetyczna-w-latach-2017-i-2018,4,14.html](http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/gospodarka-paliwowo-energetyczna-w-latach-2017-i-2018,4,14.html), p.27
- 8 Ministerstwo Energii, „Zaktualizowany projekt Polityki Energetycznej Polski do 2040 r.”, Warszawa 2019, <https://www.gov.pl/web/aktywa-panstwowe/zaktualizowany-projekt-polityki-energetycznej-polski-do-2040-r>
- 9 CEIC, Poland Investment: % of GDP, Londyn 2020 r., [ceicdata.com](http://ceicdata.com)
- 10 Stooq, DS Smith: „Ochrona środowiska wpływa na zachowania konsumpcyjne 67% Polaków”, 2019 r., [stooq.pl](http://stooq.pl)
- 11 ONZ, Porozumienie paryskie, Paryż 2015 r., [treaties.un.org](http://treaties.un.org)
- 12 W celu osiągnięcia celu założeń porozumienia paryskiego jedynie określona liczba gazów cieplarnianych może zostać wyemitowana. Zgodnie z obecnymi wskaźnikami emisji budżet emisji na poziomie 2°C zostanie wyczerpany w ciągu 25 lat, a budżet emisji na poziomie 1,5°C zostanie wyczerpany jedynie w 7 lat. Dlatego znacząca redukcja emisji w najbliższym horyzoncie czasowym jest niezbędna do osiągnięcia celu porozumienia paryskiego - <https://www.mcc-berlin.net/en/research/CO2-budget.html>
- 13 World Bank, baza danych, dostęp 2019 r., <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD>
- 14 KOBiZE, Krajowy Raport Inwentaryzacyjny 2019, Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce 1988-2017, Warszawa 2019 r., [kobize.pl](http://kobize.pl)
- 15 Ministerstwo Energii, Sprawozdanie z wyników monitorowania bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej za okres od dnia 1 stycznia 2017 r. do dnia 31 grudnia 2018 r, Warszawa 2019 r., <https://www.gov.pl/web/aktywa-panstwowe/sprawozdania-z-wynikow-monitorowania-bezpieczenstwa-dostaw-energii-elektrycznej>
- 16 PTPIREE, Energetyka: Dystrybucja i przesył, Poznań 2019 r., [http://www.ptpiree.pl/\\_examples/raport\\_2018/raport\\_ptpiree.pdf](http://www.ptpiree.pl/_examples/raport_2018/raport_ptpiree.pdf)
- 17 KOBiZE, Krajowy Raport Inwentaryzacyjny 2019, Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce 1988-2017, Warszawa 2019 r., [kobize.pl](http://kobize.pl)
- 18 Ministerstwo Energii, Zaktualizowany projekt Polityki Energetycznej Polski do 2040 r., Warszawa 2019, <https://www.gov.pl/web/aktywa-panstwowe/zaktualizowany-projekt-polityki-energetycznej-polski-do-2040-r>
- 19 W 2012 r. opublikowaliśmy naszą ostatnią prognozę krzywej kosztów dekarbonizacji dla Polski
- 20 Regulacja (EU) 2018/2066. Obecne regulacje dotyczące ETS nie obejmują ograniczenia emisji poprzez wykorzystanie wychwytywanego CO<sub>2</sub> w produktach
- 21 Potencjał tworzenia efektu cieplarnianego (GWP, z ang. global warming potential) dla gazów cieplarnianych w tym raporcie przyjęty jest na podstawie Czwartego Raportu IPCC (AR4)
- 22 Energy Transitions Commission, „Mission impossible: Reaching net-zero carbon emissions from harder-to-abate sectors by mid-century”, 2018, [energy-transitions.org](http://energy-transitions.org)
- 23 Na podstawie artykułu Andrzeja Kassenberga, „Zmiany zachowań a neutralność klimatyczna”, [chronomyklimat.pl](http://chronomyklimat.pl), 2020, <http://www.chronomyklimat.pl/wiadomosci/zmiany-zachowan-a-neutralnosc-klimatyczna>
- 24 Organizacja Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa (FAO), „Livestock’s Long Shadow”, 2006 r.
- 25 Organizacja Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa (FAO), „Food Wastage Footprint – Impact of Natural Resources”, 2013 r.

- 26 Forum Odpowiedzialnego Biznesu, Konsumenci a gospodarka obiegu, 26 Forum Odpowiedzialnego Biznesu, Konsumenci a gospodarka obiegu zamkniętego, 2019 r.
- 27 Dla wszystkich trzech rodzajów: dochód trzykrotnie wyższy od średniej krajowej
- 28 Na podstawie artykułu Andrzeja Kassenberga, „Zmiany zachowań a neutralność klimatyczna”, [chronmyklimat.pl](http://www.chronmyklimat.pl/wiadomosci/zmiany-zachowan-a-neutralnosc-klimatyczna), 2020, <http://www.chronmyklimat.pl/wiadomosci/zmiany-zachowan-a-neutralnosc-klimatyczna>
- 29 Dla wszystkich trzech rodzajów: kamienica, beton/płyta gipsowo-kartonowa
- 30 Dla wszystkich trzech rodzajów: ogrzewanie centralne
- 31 Obliczenia McKinsey na podstawie U.S. Energy Information Administration (EIA) Manufacturing Energy Consumption Survey (MECS)
- 32 KOBIZE, Krajowy Raport Inwentaryzacyjny 2019, Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce 1988-2017, Warszawa 2019 r., [kobize.pl](http://kobize.pl)
- 33 Z uwagi na brak zachęt do wyrejestrowania pojazdów, które wyszły z użytku, szacuje się, że rzeczywista liczba użytkowanych samochodów wynosi 75-80 proc.
- 34 300 Gospodarka, Alternatywa wodorowa, 2019 r., s. 24, [http://static.300gospodarka.pl/media/2019/04/alternatywa\\_wodorowa\\_raport.pdf](http://static.300gospodarka.pl/media/2019/04/alternatywa_wodorowa_raport.pdf)
- 35 KOBIZE, Krajowy Raport Inwentaryzacyjny 2019, Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce 1988-2017, Warszawa 2019 r., [kobize.pl](http://kobize.pl)
- 36 GUS, Zużycie energii w gospodarstwach domowych, Warszawa 2015 r., <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/zuzycie-energii-w-gospodarstwach-domowych-w-2015-r-,2,3.html>
- 37 GUS, Zużycie energii w gospodarstwach domowych, Warszawa 2015 r., <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/zuzycie-energii-w-gospodarstwach-domowych-w-2015-r-,2,3.html>
- 38 KOBIZE, Krajowy Raport Inwentaryzacyjny 2019, Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce 1988-2017, Warszawa 2019 r., [kobize.pl](http://kobize.pl)
- 39 GUS, Rolnictwo w 2018 r., Warszawa 2019 r., <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rolnictwo-lesnictwo/rolnictwo/rolnictwo-w-2018-roku,3,15.html>
- 40 Wageningen University & Research, The contribution of breeding to reducing environmental impact of animal production, Wageningen 2019, [wur.nl](http://wur.nl)
- 41 KOBIZE, Krajowy Raport Inwentaryzacyjny 2019, Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce 1988-2017, Warszawa 2019 r., [kobize.pl](http://kobize.pl)
- 42 Klasyfikacja gruntów rolnych w Polsce. Kategorie V i VI zawierają grunty o niskim współczynniku żyzności
- 43 KOBIZE, Krajowy Raport Inwentaryzacyjny 2019, Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce 1988-2017, Warszawa 2019 r., [kobize.pl](http://kobize.pl)
- 44 Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, Polityka leśna państwa, Warszawa 1997 r., [https://www.katowice.lasy.gov.pl/c/document\\_library/get\\_file?uuid=506deebb-988d-4665-bcd9-148fc66ee02&groupId=26676](https://www.katowice.lasy.gov.pl/c/document_library/get_file?uuid=506deebb-988d-4665-bcd9-148fc66ee02&groupId=26676)
- 45 KOBIZE, Krajowy Raport Inwentaryzacyjny 2019, Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce 1988-2017, Warszawa 2019 r., [kobize.pl](http://kobize.pl)
- 46 Zwykle okres funkcjonowania elektrowni węglowej wynosi 40 lat. Po upływie tego czasu i przeprowadzeniu znacznych modernizacji instalacji można przedłużyć go dwukrotnie o 10 lat, co daje w sumie 60-letni cykl życia. Każda przebudowa to kwestia podjęcia odpowiednich decyzji biznesowych i zaplanowania powiązanych z tym inwestycji
- 47 Biznes Alert, PIE: Z czasem zmniejsza się liczba miejsc pracy w polskim górnictwie, 4 grudnia 2019, [biznesalert.pl](http://biznesalert.pl)
- 48 Ministerstwo Energii, Zaktualizowany projekt Polityki Energetycznej Polski do 2040 r., Warszawa 2019, <https://www.gov.pl/web/aktywa-panstwowe/zaktualizowany-projekt-polityki-energetycznej-polski-do-2040-r>
- 49 Jan Baran et al., „Coal transition in Poland: Options for a fair and feasible transition for the Polish coal sector”, Institute for Sustainable Development and International Relations, 2018, [iddri.org](http://iddri.org)
- 50 GUS, Energetyka, Warszawa 2019 r.
- 51 Ministerstwo Energii, Zaktualizowany projekt „Polityki Energetycznej Polski do 2040 r.”, Warszawa 2019, <https://www.gov.pl/web/aktywa-panstwowe/zaktualizowany-projekt-polityki-energetycznej-polski-do-2040-r>
- 52 Na podstawie danych z 12 lat pozwalających testować wytrzymałość na ekstremalne warunki pogodowe
- 53 Na podstawie modelu dla baterii E2P 11 4. Analiza zakłada spadek średniego kosztu z ~250\$/KWh w 2020 roku do ~71\$/kWh w 2050 dla E2P – 4. Analiza nie uwzględnia zróżnicowania kosztu składowania pomiędzy sektorami ze względu na zróżnicowanie kosztów baterii pomiędzy różnymi zastosowaniami
- 54 World Bank Group, Expanding Offshore Wind to Emerging Markets, Waszyngton 2019 r., [worldbank.org](http://worldbank.org)
- 55 CEIC, Poland Investment: % of GDP, Londyn 2020 r., [ceicdata.com](http://ceicdata.com)

- 56 Organizacja Narodów Zjednoczonych, UN Comtrade 2018 baza danych, dostęp 2020
- 57 PZPM, Raport Branży Motoryzacyjnej 2019/2020, Warszawa 2020 r., <https://www.pzpm.org.pl/Rynek-motoryzacyjny/Roczniki-i-raporty/Raport-branzy-motoryzacyjnej-2019-2020>
- 58 Liczby dotyczące potencjalnego wzrostu PKB są oparte na mnożnikach z wyłączeniem skutków pośrednich, takich jak wzrost wydatków wśród zatrudnionych w danej branży lub u dostawców
- 59 Obliczenia McKinsey na podstawie Przedstawicielstwa Komisji Europejskiej w Polsce, Population Ageing, Labour Market And Public Finance in Poland, 2017 <https://ibs.org.pl/app/uploads/2017/03/Population-ageing-labour-market-and-public-finance-in-Poland.pdf> oraz danych GUS <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rynek-pracy/pracujacy-bezrobotni-bierni-zawodowo-wg-bael/informacja-o-rynku-pracy-w-drugim-kwartale-2019-roku-dane-wstepne,12,38.html>
- 60 James Eddy, Alexander Pfeiffer, and Jasper van de Staa, Recharging economies: The EV-battery manufacturing outlook for Europe, Londyn 2019 r., McKinsey.com
- 61 Eurostat, Number of tertiary education graduates by field, 2016, [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Number\\_of\\_tertiary\\_education\\_graduates\\_by\\_field,\\_2016\\_\(thousands\)\\_ET18.png](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Number_of_tertiary_education_graduates_by_field,_2016_(thousands)_ET18.png)
- 62 GUS, baza danych SWAiD, dostęp 2020 r. [http://swaid.stat.gov.pl/HandelZagraniczny\\_dashboards/Raporty\\_konstruowane/RAP\\_SWAID\\_HZ\\_3\\_2.aspx](http://swaid.stat.gov.pl/HandelZagraniczny_dashboards/Raporty_konstruowane/RAP_SWAID_HZ_3_2.aspx)
- 63 Chińczycy zainwestują w Polsce w fabrykę komponentów baterii litowo-jonowych, Bankier.pl, 27 marca 2018 r., <https://www.bankier.pl/wiadomosc/Chinczy-zainwestuja-w-Polsce-w-fabryke-komponentow-baterii-litowo-jonowych-4093470.html>
- 64 Chiński producent części do aut elektrycznych wybuduje fabrykę za 45 mln dolarów, Gazeta Wyborcza, 30 maja 2018 r., <https://wroclaw.wyborcza.pl/wroclaw/7,35771,23474714,chiński-producent-czesci-do-aut-elektrycznych-wybuduje-fabryke.html?disableRedirects=trueS>
- 65 SK Innovation: Nasza ekspansja na Europę zaczyna się w Dąbrowie Górniczej, Gazeta Wyborcza, 25 czerwca 2019 r., <https://sosnowiec.wyborcza.pl/sosnowiec/7,93867,24932017,sk-innovation-nasza-ekspansja-na-europe-zaczyna-sie-w-dabrowie.html>
- 66 Obliczenia McKinsey na podstawie Transport Environment, [https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2019\\_07\\_TE\\_electric\\_cars\\_report\\_final.pdf](https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2019_07_TE_electric_cars_report_final.pdf) and Bloomberg, <https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/07/BNEFLithium-ion-battery-costs-and-market.pdf>
- 67 Tomasz Marciniak, Marcin Purta, Kacper Rozenbaum, „Rozwój morskiej energetyki wiatrowej w Polsce”, McKinsey & Company, styczeń 2016, McKinsey.com
- 68 Obliczenia McKinsey na podstawie Geologia 2013, Problemy geologiczno-inżynierskie w posadawianiu obiektów budowlanych na obszarach morskich RP, [http://geoportal.pgi.gov.pl/css/powiaty/prezentacje/targi2013/frankowski\\_werno.pdf](http://geoportal.pgi.gov.pl/css/powiaty/prezentacje/targi2013/frankowski_werno.pdf)
- 69 Fundacja na rzecz Energetyki Zrównoważonej, Program rozwoju morskiej energetyki i przemysłu morskiego w Polsce, Warszawa 2018, [https://www.beif.pl/wp-content/uploads/2018/02/PRMEPM\\_EN.pdf?x30829](https://www.beif.pl/wp-content/uploads/2018/02/PRMEPM_EN.pdf?x30829)
- 70 Jako bezpośredni skutek inwestycji
- 71 Obliczenia McKinsey na podstawie danych PORT PC, 2019, MuratorDom, 2018 [http://portpc.pl/pdf/raporty/Raport\\_PORTPC\\_wersja\\_final\\_2019.pdf](http://portpc.pl/pdf/raporty/Raport_PORTPC_wersja_final_2019.pdf), <https://murator.com.pl/instalacje/pompy-ciepla/ile-kosztuje-pompa-ciepla-jakie-sa-koszty-ogrzewania-domu-pompa-gruntowa-i-powietrzna-aa-FtRX-mFKW-WvK6.html>
- 72 Komisja Europejska, Statistical Factsheet Poland, 2019, [https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming-fisheries/farming/documents/agri-statistical-factsheet-pl\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming-fisheries/farming/documents/agri-statistical-factsheet-pl_en.pdf)
- 73 Obliczenia McKinsey na podstawie danych GUS, 2018 oraz SGGW, 2018, <https://www.farmer.pl/finanse/podatki-rachunkowosc/w-polsce-rosnie-liczba-gospodarstw,85385.html>, [http://sj.wne.sggw.pl/pdf/PEFIM\\_2018\\_n69\\_s83.pdf](http://sj.wne.sggw.pl/pdf/PEFIM_2018_n69_s83.pdf)
- 74 Obliczenia McKinsey na podstawie MATEC Web of Conferences, 2018 oraz Eurostat, 2018, <https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=tec00115&plugin=1>
- 75 Obliczenia McKinsey na podstawie MATEC Web of Conferences, 2018 oraz Eurostat, 2018, <https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=tec00115&plugin=1>
- 76 Eurostat, Institutional Sector Accounts, dostęp 2019 r., <https://ec.europa.eu/eurostat/web/sector-accounts/data/key-indicators>
- 77 Powszechnie dostępne przykłady to: Wśród badań można wymienić: Accelerating the energy transition: cost or opportunity?, McKinsey Global Institute, wrzesień 2016 r., McKinsey.com; Cost-efficient emission reduction pathway to 2030 (Efektywna kosztowa droga do redukcji poziomu emisji do 2030 r.), Sitra, McKinsey&Company, 2019, sitra.fi
- 78 Ministerstwo Energii, Zaktualizowany projekt „Polityki Energetycznej Polski do 2040 r.”, Warszawa 2019, <https://www.gov.pl/web/aktywa-panstwowe/zaktualizowany-projekt-polityki-energetycznej-polski-do-2040-r>

# Autorzy



**Marcin Purta** jest Partnerem Zarządzającym w warszawskim biurze McKinsey. Ekspert z blisko 20-letnim doświadczeniem w doradztwie strategicznym. Współtworzył wiele raportów wydanych przez McKinsey, m.in.: „Ocena potencjału redukcji gazów cieplarnianych w Polsce do 2030 r.”, „Rozwój morskiej energetyki wiatrowej w Polsce” oraz „Polska 2030. Szansa na skok do gospodarczej ekstraklasy”.



**Gustaw Szarek** jest Partnerem Lokalnym w warszawskim biurze McKinsey. Wspiera klientów z sektorów przemysłu oraz energetyki w zakresie transformacji energetycznej i wdrażaniu technologii cyfrowych. Współautor raportu „Rewolucja AI: Jak sztuczna inteligencja zmieni biznes w Polsce”.



**Hauke Engel** jest Partnerem w biurze McKinsey we Frankfurcie oraz liderem w Praktyce Zrównoważonego Rozwoju McKinsey. Prowadzi projekty dotyczące globalnych zmian klimatycznych, transformacji technologicznych i dekarbonizacji. Współautor wielu raportów dotyczących m.in. zapotrzebowania na energię i prognozowania ścieżek emisji CO<sub>2</sub>.



**Eveline Speelman**, Expert Associate Partner w ramach McKinsey Energy Insights w Amsterdamie. Ekspertka w dziedzinie transformacji energetycznej, dekarbonizacji i gospodarki o obiegu zamkniętym. Eveline jest autorką szeregu publikacji, w tym: „Decarbonization of industrial sectors: the next frontier and Energy Transition industry: mission (im)possible?”.



**Pol van der Pluijm** jest Menedżerem Projektów w ramach Praktyki Zrównoważonego Rozwoju McKinsey w Amsterdamie. Wspiera klientów korporacyjnych i inwestorów w kwestiach związanych ze wzrostem i zrównoważonym rozwojem. Pol jest współautorem kilku publikacji na temat zrównoważonego rozwoju, w tym „Artificial Intelligence for the circular economy”.

Analizy będące podstawą tego raportu wykonał dedykowany zespół konsultantów, w skład którego wchodzi: Jakub Czugała, Marcin Hajłasz, Agnieszka Machoń, Ying Li, Wouter Vink i Olga Wołowicz.

Znaczący wkład w wiedzę sektorową wnieśli: Mladen Fruk, Elisabeth Harnmeijer, Viktor Hanzlík, Tomas Naucner, Jesse Noffsinger, Jurica Novak, Occo Roelofsen i Matt Rogers.

Do powstania raportu przyczyniło się wiele innych osób, między innymi: Joanna Iszkowska, Kristen Jennings, Natalia Sobczak, Tomasz Jurkanis, Tomasz Karpiński, Gosia Leśniewska, Milena Malinowska, Tomasz Marciniak, Wiktor Namysł, Katarzyna Tłuścik i Bartek Walentyński.

Autorzy dziękują wszystkim tym osobom za ich cenny wkład.





2020

Copyright © McKinsey & Company

[www.mckinsey.com](http://www.mckinsey.com)

 @McKinsey

 @McKinsey