

Zerowe emisje netto do 2050 r.

Plan działania dla globalnego sektora energii

International
Energy Agency

Tłumaczenie wykonane przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska oraz Stałe Przedstawicielstwo RP przy OECD



Stale Przedstawicielstwo
Rzeczypospolitej Polskiej
przy OECD

Zerowe emisje netto do 2050 r.

Plan działania dla globalnego sektora energii

Dostęp interaktywny do dokumentu Zerowe
emisje netto do 2050 r.

iea.li/nzeroadmap

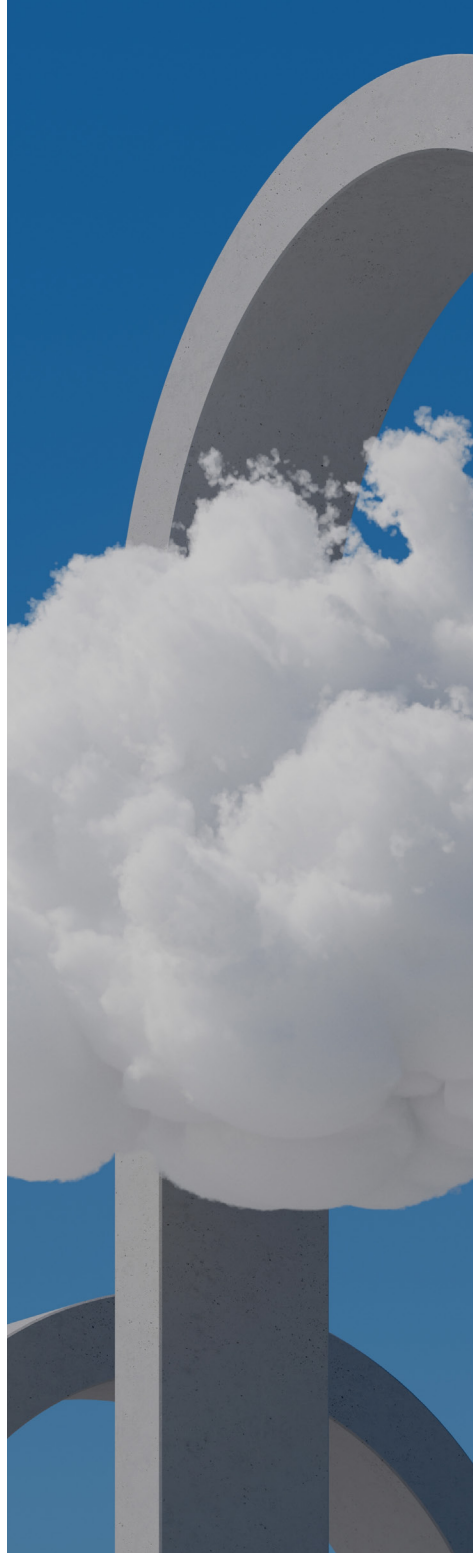
Dane dla dokumentu Zerowe emisje netto do
2050 r.

iea.li/nzedata

Tłumaczenie wykonane przez Ministerstwo Klimatu i
Środowiska oraz Stałe Przedstawicielstwo RP przy OECD



Stałe Przedstawicielstwo
Rzeczypospolitej Polskiej
przy OECD



INTERNATIONAL ENERGY AGENCY

The IEA examines the full spectrum of energy issues including oil, gas and coal supply and demand, renewable energy technologies, electricity markets, energy efficiency, access to energy, demand side management and much more. Through its work, the IEA advocates policies that will enhance the reliability, affordability and sustainability of energy in its 30 member countries, 8 association countries and beyond.

Please note that this publication is subject to specific restrictions that limit its use and distribution. The terms and conditions are available online at www.iea.org/t&c/. This publication and any map included herein are without prejudice to the status of or sovereignty over any territory, to the delimitation of international frontiers and boundaries and to the name of any territory, city or area.

IEA member countries:

Australia
Austria
Belgium
Canada
Czech Republic
Denmark
Estonia
Finland
France
Germany
Greece
Hungary
Ireland
Italy
Japan
Korea
Luxembourg
Mexico
Netherlands
New Zealand
Norway
Poland
Portugal
Slovak Republic
Spain
Sweden
Switzerland
Turkey
United Kingdom
United States

The European Commission also participates in the work of the IEA

IEA association countries:

Brazil
China
India
Indonesia
Morocco
Singapore
South Africa
Thailand

Zbliżamy się do decydującego momentu w międzynarodowych wysiłkach na rzecz rozwiązania kryzysu klimatycznego będącego wielkim wyzwaniem naszych czasów. Liczba krajów, które zobowiązały się do osiągnięcia zerowych emisji netto do połowy tego stulecia lub niewiele później wciąż rośnie, ale rosną też globalne emisje gazów cieplarnianych. Ta rozbieżność między słowami a czynami musi zniknąć, jeśli chcemy mieć szansę na osiągnięcie do 2050 r. zerowych emisji netto dwutlenku węgla i ograniczenie wzrostu temperatury na świecie do 1,5 °C.

Osiągnięcie tego celu wymaga całkowitego przekształcenia systemów energetycznych stanowiących podstawy naszych gospodarek. Znajdujemy się w krytycznym roku na początku krytycznej dekady dla tych wysiłków. 26. Konferencja Stron Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (COP26), która odbędzie się w listopadzie 2021 r., będzie centralnym punktem wzmocnienia globalnych ambicji i działań na rzecz klimatu poprzez budowanie na fundamencie, jaki stanowi Porozumienie paryskie z 2015 r. Międzynarodowa Agencja Energetyczna (IEA) podjęła intensywne starania, aby wesprzeć rząd Wielkiej Brytanii, który objął prezydencję COP26, i przyczynić się do tak potrzebnego światu sukcesu. W marcu tego roku wraz z prezydentem COP26 Alokiem Sharma miałem zaszczyt być współgospodarzem szczytu IEA – COP26 Net Zero, podczas którego najważniejsi liderzy w obszarze energii i klimatu z ponad 40 krajów zwracali uwagę na globalną dynamikę przemian zmierzających w kierunku czystej energii.

Dyskusje, które miały miejsce podczas tego szczytu zostały wykorzystane w niniejszym raporcie specjalnym, zwłaszcza w ramach Siedmiu kluczowych zasad wdrażania zerowych emisji netto, które IEA przedstawiła podczas tego szczytu i które do tej pory zostały poparte przez 22 rządy naszych państw członkowskich. W niniejszym raporcie przedstawiono to, w jaki sposób globalny sektor energii może osiągnąć zerowe emisje netto do 2050 r. Uważam, że raport *Zerowe emisje netto do 2050 r.: Plan działania dla światowego sektora energii* jest jednym z najważniejszych i najbardziej ambitnych przedsięwzięć w historii IEA. Niniejszy Plan działania jest kulminacją pionierskiej pracy IEA nad modelowaniem danych energetycznych, łącząc po raz pierwszy złożone modele naszych dwóch flagowych serii: *World Energy Outlook* i *Energy Technology Perspectives*. Zapewni on wytyczne dla prac IEA oraz integralną część obu tych serii w przyszłości.

Pomimo obecnej rozbieżności między słowami a czynami w zakresie emisji, nasz Plan działania pokazuje, że nadal istnieje możliwość osiągnięcia zerowych emisji netto do 2050 roku. Droga, na której się skupiamy, jest – w naszej analizie – najbardziej wykonalna technicznie, opłacalna i społecznie akceptowalna. Mimo to ścieżka ta w dalszym ciągu pozostaje wąska i stanowi ogromne wyzwanie, wymagając od wszystkich zainteresowanych stron – rządów, przedsiębiorstw, inwestorów i obywateli – podjęcia działań w tym roku i w każdym następnym, aby cel nie wymknął się spod kontroli.

W niniejszym raporcie określono wyraźne etapy – w sumie ponad 400, obejmujące wszystkie sektory i technologie – dotyczące tego, co i kiedy musi się wydarzyć, aby przekształcić gospodarkę światową z gospodarki zdominowanej przez paliwa kopalne w gospodarkę opartą w przeważającej mierze na energii odnawialnej, takiej jak energia słoneczna i

wiatrowa. Nasza droga wymaga ogromnych nakładów inwestycyjnych, innowacji, umiejętnego kształtowania i wdrażania polityk, wdrażania technologii, budowy infrastruktury, współpracy międzynarodowej i wysiłków w wielu innych dziedzinach.

Od momentu powstania IEA w 1974 roku, jedną z jej podstawowych misji było promowanie bezpiecznych i przystępnych cenowo dostaw energii w celu wspierania wzrostu gospodarczego. Pozostało to kluczowym przedmiotem zainteresowania naszego Planu działania, opartego na specjalnej analizie przeprowadzonej wraz z Międzynarodowym Funduszem Walutowym (IMF) i Międzynarodowym Instytutem Analizy Systemów Stosowanych (IIASA). Pokazuje to, że ogromne wyzwanie, jakim jest przekształcenie naszych systemów energetycznych, stanowi również ogromną szansę dla naszych gospodarek, z potencjałem stworzenia milionów nowych miejsc pracy i pobudzenia wzrostu gospodarczego.

Kolejną zasadą przewodnią Planu działania jest to, że transformacja w kierunku czystej energii musi być sprawiedliwa i integrująca, nie pozostawiając nikogo w tyle. Musimy zapewnić to, aby gospodarki rozwijające się otrzymały finansowanie i know-how w zakresie technologii, których potrzebują, aby kontynuować budowę swoich systemów energetycznych w celu zaspokojenia potrzeb rosnących populacji i gospodarek w sposób zrównoważony. Zapewnienie energii elektrycznej setkom milionów ludzi, którzy obecnie są pozbawieni dostępu do niej, w większości w Afryce, jest moralnym imperatywem.

W przejściu do zerowych emisji netto chodzi przede wszystkim o ludzi. Należy mieć świadomość, że nie każdy pracownik sektora paliw kopalnych może z łatwością podjąć pracę w sektorze czystej energii, dlatego rządy muszą promować szkolenia i przeznaczać środki na zapewnianie im nowych możliwości. Obywatele muszą być zaangażowani w cały proces, dzięki czemu poczują się aktywnymi uczestnikami przemian, a nie tylko ich przedmiotem. Zagadnienia te były analizowane przez The Global Commission on People-Centred Clean Energy Transitions, którą zwołałem na początku 2021 r., aby zbadać, w jaki sposób zapewnić obywatelom korzystanie z możliwości i radzenie sobie z zakłóceniami związanymi z przejściem na gospodarkę opartą na czystej energii. Globalna Komisja, której przewodniczy premier Danii Mette Frederiksen, a w której skład wchodzi przywódcy rządów, ministrowie i wybitni myśliciele, opublikuje swoje kluczowe zalecenia przed konferencją COP26 w listopadzie.

Ścieżka wytyczona w naszym Planie działania ma zasięg globalny, ale każdy kraj będzie musiał opracować własną strategię uwzględniającą swoje specyficzne uwarunkowania. Nie ma jednego uniwersalnego podejścia do transformacji w kierunku czystej energii. Przyjmowane plany muszą odzwierciedlać różne etapy rozwoju gospodarczego poszczególnych krajów: na naszej ścieżce gospodarki zaawansowane osiągają zerowe emisje netto wcześniej niż gospodarki rozwijające się. Jako wiodący światowy autorytet w dziedzinie energii, IEA jest gotowa zapewnić rządów wsparcie i doradztwo przy opracowywaniu i wdrażaniu ich własnych planów działania, a także zachęcać do międzynarodowej współpracy międzysektorowej, która jest tak istotna dla osiągnięcia zerowych emisji netto do 2050 roku.

Ten przełomowy raport nie byłby możliwy bez niezwykle poświęcenia kolegów z IEA, którzy pracowali nad nim w niezwykle niestrudzony i zdyscyplinowany sposób. Chciałbym podziękować całemu zespołowi pod wybitnym kierownictwem moich kolegów Laury Cozzi i Timura Güla.

Świat stoi przed ogromnym wyzwaniem, aby do 2050 r. redukcja emisji do zera przestała być jedynie mało prawdopodobną możliwością i stała się praktyczną rzeczywistością. Globalne emisje dwutlenku węgla już teraz gwałtownie wzrastają, ponieważ gospodarki odzyskują wigor po zeszłorocznym wstrząsie wywołanym pandemią. Nadszedł czas, aby rządy podjęły działania, i to zdecydowane, aby przyspieszyć transformację w kierunku czystej energii.

Jak pokazuje niniejszy raport, jesteśmy w IEA w pełni gotowi przeprowadzić tym wysiłkom.

Dr Fatih Birol
Dyrektor Wykonawczy
International Energy Agency
Międzynarodowa Agencja Energetyczna (IEA)

Niniejsze opracowanie, będące efektem wspólnych starań całej IEA, zostało przygotowane przez zespoły World Energy Outlook oraz Energy Technology Perspectives. Dokument zaprojektowali i jego opracowaniem kierowali Pani **Laura Cozzi**, Chief Energy Modeller, szefowa Division for Energy Demand Outlook, a także **Timur Gül**, szef Division for Energy Technology Policy. Głównymi autorami i koordynatorami byli **Stéphanie Bouckaert**, **Araceli Fernandez Pales**, **Christophe McGlade**, **Uwe Remme** oraz **Brent Wanner**. Członkami zespołu byli także **Laszlo Varro**, Główny Ekonomista, **Davide D'Ambrosio** i **Thomas Spencer**.

Pozostali najważniejsi autorzy to **Thibaut Abergel** (budynki), **Yasmine Aرسالane** (perspektywy gospodarcze, energia elektryczna), **Praveen Bains** (biopaliwa), **Jose Miguel Bermudez Menendez** (wodór), **Elizabeth Connelly** (transport), **Daniel Crow** (zachowanie), **Amrita Dasgupta** (innowacje), **Chiara Delmastro** (budynki), **Timothy Goodson** (budynki, bioenergia), **Alexandre Gouy** (przemysł), **Paul Hugues** (przemysł), **Lilly Lee** (transport), **Peter Levi** (przemysł), **Hana Mandova** (przemysł), **Ariane Millot** (budynki), **Paweł Olejarnik** (zaopatrzenie w paliwa kopalne), **Leonardo Paoli** (innowacje, transport), **Faidon Papadimoulis** (zarządzanie danymi), **Sebastian Papapanagiotou** (sieci elektroenergetyczne), **Francesco Pavan** (wodór), **Apostolos Petropoulos** (transport), **Ryszard Pośpiech** (zarządzanie danymi), **Leonie Staas** (zachowanie, przemysł), **Jacopo Tattini** (transport), **Jacob Teter** (transport), **Gianluca Tonolo** (dostęp do energii), **Tiffany Vass** (przemysł) i **Daniel Wetzel** (miejsca pracy).

Inni współpracownicy to Lucila Arboleya Sarazola, Simon Bennett, Cyril Cassisa, Arthur Contejean, Musa Erdogan, Enrique Gutierrez Tavarez, Taku Hasegawa, Shai Hassid, Zoe Hungerford, Tae-Yoon Kim, Vanessa Koh, Luca Lo Re, Christopher Lowans, Raimund Malischek, Mariachiara Poliseni i Per Anders Widell.

Caroline Abettan, Teresa Coon, Marina Dos Santos, Marie Fournier-S'niehotta, Reka Koczka i Diana Louis zapewнили niezbędne wsparcie.

Edmund Hosker był odpowiedzialny za redakcję, a **Debra Justus** wykonała korektę tekstu.

W zakresie dostarczenia analizy makroekonomicznej, z IEA współpracował Międzynarodowy Fundusz Walutowy (MFW), w szczególności Benjamin Hunt, Florence Jaumotte, Jared Thomas Bebee i Susanna Mursula. W zakresie dostarczenia analiz i powiązanych wskaźników dotyczących zanieczyszczenia powietrza i emisji gazów cieplarnianych pochodzących z użytkowania gruntów, z IEA współpracował Międzynarodowy Instytut Analizy Systemów Stosowanych (IIASA), a w szczególności Peter Rafaj, Gregor Kiesewetter, Wolfgang Schöpp, Chris Heyes, Zbigniew Klimont, Pallav Purohit, Laura Warnecke, Binh Nguyen, Nicklas Forsell, Stefan Frank, Petr Havlik i Mykola Gusti.

Cenne uwagi i komentarze przekazali inni członkowie kierownictwa wyższego szczebla oraz wielu innych współpracowników Międzynarodowej Agencji Energetycznej, w szczególności Keisuke Sadamori, Mechthild Wörsdörfer, Amos Bromhead, Dan Dorner, Nick Johnstone, Pascal Laffont, Toril Bosoni, Peter Fraser, Paolo Frankl, Tim Gould, Tom Howes, Brian Motherway, Aad van Bohemen, César Alejandro Hernández, Samantha McCulloch, Sara

Moarif, Heymi Bahar, Adam Baylin-Stern, Niels Berghout, Sara Budinis, Jean-Baptiste Dubreuil, Carlos Fernández Alvarez, Ilkka Hannula, Jeremy Moorhouse i Stefan Lorenczik.

Cenny wkład w analizę wnieśli Trevor Morgan (niezależny konsultant) i David Wilkinson (niezależny konsultant).

Nasze podziękowania kierujemy do Biura Komunikacji i Cyfryzacji (CDO IEA), w szczególności do Jada Mouawada, Szefa CDO, oraz do Astrid Dumond, Jona Custer, Tanyi Dyhin, Merve Erdil, Grace Gordon, Christophera Gully, Jethro Mullena, Julie Puech, Roba Stone'a, Gregory'ego Viscusi, Therese Walsh i Wonjik Yang za ich pomoc w opracowaniu i promocji raportu oraz materiałów na stronę internetową.

Podziękowania kierujemy również do Ivo Letra z Działu Systemów Informatycznych IEA za jego niezbędne wsparcie w procesie opracowania, a także do Biura Radcy Prawnego IEA, Biura Zarządzania i Administracji oraz Centrum Danych Energetycznych za pomoc udzieloną w trakcie przygotowywania niniejszego raportu.

Osoby dokonujące wzajemnej oceny (peer review)

Swój wkład w opracowanie wstępnych wersji raportu wniosło i ich przeglądu dokonało wielu urzędników państwowych wyższego szczebla oraz ekspertów międzynarodowych. Ich uwagi i sugestie były bardzo cenne. Należą do nich:

Aimee Aguilar Jaber	Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD)
Keigo Akimoto	Instytut Badawczy Innowacyjnych Technologii dla Ziemi, Japonia
Doug Arent	Krajowe Laboratorium Energii Odnawialnej (NREL), Stany Zjednoczone
Daniel Balog	Stałe Przedstawicielstwo Węgier przy OECD
Georg Bäuml	Volkswagen
Harmeet Bawa	Hitachi ABB Sieci Elektroenergetyczne
Pete Betts	Instytut Badawczy Zmian Klimatu i Środowiska Grantham, Wielka Brytania
Sama Bilbao y Leon	Światowe Stowarzyszenie Nuklearne (WNA)
Diane Cameron	Agencja Energii Jądrowej (OECD-NEA)
Rebecca Collyer	Europejska Fundacja Klimatyczna (ECF)
Russell Conklin	Departament Energii USA
François Dassa	EDF
Jelte de Jong	Ministerstwo Spraw Gospodarczych i Polityk Klimatycznej, Nederlandy
Carl de Maré	ArcelorMittal
Guillaume De Smedt	Air Liquide
Agustin Delgado	Iberdrola
Johanna Fiksdahl	Stałe Przedstawicielstwo Norwegii przy OECD
Alan Finkel	Specjalny doradca rządu Australii ds. technologii niskoemisyjnych
Niklas Forsell	Międzynarodowy Instytut Analizy Systemów Stosowanych (IIASA)
James Foster	Departament ds. Biznesu, Energii i Strategii Przemysłowej Wielkiej Brytanii
Hiroyuki Fukui	Toyota
Rosanna Fusco	Eni

Li Gao	Ministerstwo Ekologii i Środowiska Chińskiej Republiki Ludowej
François Gautier	Stałe Przedstawicielstwo Francji przy OECD
Oliver Geden	Niemiecki Instytut Spraw Międzynarodowych i Bezpieczeństwa
Dolf Gielen	Międzynarodowa Agencja Energii Odnawialnej (IRENA)
Francesca Gostinelli	Enel
Jae H. Jung	Ministerstwo Spraw Zagranicznych, Republika Korei
Michael Hackethal	Ministerstwo Gospodarki i Przemysłu, Niemcy
Peter Wood	Shell
Selwin Hart	Organizacja Narodów Zjednoczonych (ONZ)
David Hawkins	Rada Ochrony Zasobów Naturalnych (NRDC)
Jacob Herbers	Departament Energii USA
Takashi Hongo	Instytut Globalnych Studiów Strategicznych Mitsui & Co., Japonia
Christina Hood	Compass Climate, Nowa Zelandia
Michael Kelly	Światowa Organizacja Gazu Płynnego (WLPGA)
Sir David King	Uniwersytet Cambridge
Ken Koyama	Instytut Gospodarki Energetycznej, Japonia
Fabien Kreuzer	Dyrekcja Generalna ds. Energii, Komisja Europejska
Joyce Lee	Światowa Rada Energetyki Wiatrowej (GWEC)
Chen Linhao	Ministerstwo Nauki i Technologii Chińskiej Republiki Ludowej
Todd Litman	Instytut Polityk Transportowej w Victorii, Kanada
Claude Lorea	Światowe Stowarzyszenie Cementu i Betonu
Ritu Mathur	Instytut Energii i Zasobów (TERI)
Vincent Minier	Schneider Electric
Steve Nadel	Amerykańska Rada ds. Efektywnej Energetycznie Gospodarki
Stefan Nowak	Program Współpracy Technologicznej w Dziedzinie Fotowoltaicznych Systemów Energetycznych (PVPS TCP)
Brian Ö Gallachoir	MaREI, Centrum Badawcze SFI ds. Energii, Klimatu i Morza, Uniwersytet w Cork
Henri Paillère	Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (IAEA))
Yongduk Pak	Koreański Instytut Ekonomii Energetyki (KEEI)
Alessandra Pastorelli	Stałe Przedstawicielstwo Włoch przy OECD
Jonathan Pershing	Departament Stanu USA
Glen Peters	Centrum Międzynarodowych Badań nad Klimatem i Środowiskiem (CICERO)
Stephanie Pfeifer	Grupa Inwestorów Instytucjonalnych ds. Zmian Klimatycznych (IIGCC)
Cédric Philibert	Niezależny konsultant
Lynn Price	Narodowe Laboratorium im. Lawrence'a Berkeleya, Stany Zjednoczone
Andrew Purvis	Światowe Stowarzyszenie Stali
Julia Reinaud	Breakthrough Energy
Yamina Saheb	OpenEXP
Ignacio Santelices	Agencja Zrównoważonej Energii, Chile
Andreas Schäfer	Kolegium Uniwersyteckie w Londynie
Vivian Scott	Uniwersytet w Edynburgu
Simon Sharpe	Kancelaria Rządu, Wielka Brytania

Annan Shihab Eldin	Dawniej Kuwejcka Fundacja na rzecz Postępu Nauk
Toshiyuki Shirai	Ministerstwo Gospodarki, Handlu i Przemysłu, Japonia
Adam Sieminski	KAPSARC
Stephan Singer	Sieć Działań na Rzecz Klimatu
Varun Sivaram	Departament Stanu USA
Jim Skea	Imperial College Londyn
Jeff Stehm	Grupa Zadaniowa ds. Ujawniania Informacji Finansowych Związanych z Klimatem (TCFD)
Jonathan Stern	Oksfordzki Instytut Badań nad Energią
Wim Thomas	Niezależny konsultant
David Turk	Departament Energii USA
Fritjof Unander	Norweska Rada ds. Badań Naukowych
Rob van der Meer	Europejskie Stowarzyszenie Producentów Cementu (CEMBUREAU)
Noe van Hulst	Międzynarodowe Partnerstwo na rzecz Wodoru i Ogniw Paliwowych w Gospodarce (IPHE)
Tom van Ierland	Dyrekcja Generalna ds. Działań dla Klimatu, Komisja Europejska
David Victor	Uniwersytet Kalifornijski, San Diego
Amanda Wilson	Ministerstwo Zasobów Naturalnych Kanady (NRCan)
Harald Winkler	Uniwersytet w Kapsztadzie
Markus Wolf	Instytut Badań nad Energią Elektryczną (EPRI), Stany Zjednoczone
Markus Wrake	Szwedzkie Centrum Badań nad Energią
William Zimmern	BP

Osoby i organizacje, które przyczyniły się do powstania tego opracowania nie ponoszą odpowiedzialności za zawarte w nim opinie i oceny. Za wszelkie błędy i pominięcia odpowiada wyłącznie IEA.

Niniejszy dokument oraz wszelkie zawarte w niej mapy nie przesądają o statusie lub suwerenności jakiegokolwiek terytorium, o wytyczeniu granic państwowych ani o nazwie jakiegokolwiek terytorium, miasta lub obszaru.

Komentarze i pytania są mile widziane i prosimy o kierowanie ich na następujący adres:

Laura Cozzi and Timur Gül
 Directorate of Sustainability, Technology and Outlooks
 International Energy Agency
 9, rue de la Fédération
 75739 Paris Cedex 15
 France
 E-mail: IEANZE2050@iea.org
 Internet: www.iea.org

Przedmowa	3
Podziękowania	7
Streszczenie dla decydentów.....	15

1

Ogłoszone zobowiązania dotyczące ezerowych emisji netto oraz sektor energii

33

1.1 Wprowadzenie	34
1.2 Cele w zakresie redukcji emisji i zobowiązania do osiągnięcia zerowych emisji netto.....	35
1.2.1 Wkłady Ustalone na Poziomie Krajowym	35
1.2.2 Zobowiązania do osiągnięcia zerowych emisji netto	37
1.3 Perspektywy emisji i energii w scenariuszu STEPS	41
1.3.1 Emisje CO ₂	41
1.3.2 Całkowita podaż energii, całkowite końcowe zużycie energii i wytwarzanie energii elektrycznej	42
1.3.3 Emisje z istniejących obiektów	45
1.4 Analiza Ogłoszonych Zobowiązań	46
1.4.1 Emisje CO ₂	47
1.4.2 Całkowita podaż energii	49
1.4.3 Całkowite zużycie końcowe	51
1.4.4 Wytwarzanie energii elektrycznej	52

2

Globalna ścieżka prowadząca do zerowych emisji CO₂ netto w 2050 r.

55

2.1 Wprowadzenie	56
2.2 Konstrukcja scenariusza	57
2.2.1 Liczba ludności i PKB.....	59
2.2.2 Ceny energii i CO ₂	60
2.3 Emisje CO ₂	62
2.4 Całkowita podaż energii i końcowe zużycie energii.....	67
2.4.1 Całkowita podaż energii	67
2.4.2 Całkowite zużycie końcowe	71
2.5 Kluczowe filary dekarbonizacji	76
2.5.1 Efektywność energetyczna	77
2.5.2 Zmiana zachowań	80

2.5.3	Elektryfikacja	85
2.5.4	Odnawialne źródła energii.....	88
2.5.5	Wodór i paliwa na bazie wodoru	91
2.5.6	Bioenergia.....	93
2.5.7	Wychwytywanie, wykorzystywanie i składowanie dwutlenku węgla	96
2.6	Inwestycje.....	98
2.7	Kluczowe niewiadome	101
2.7.1	Zmiany behawioralne	102
2.7.2	Bioenergia i zmiana użytkowania gruntów	110
2.7.3	Systemy CCUS wykorzystywane w odniesieniu do emisji z paliw kopalnych.....	116

3

Ścieżki sektorowe prowadzące do zerowych emisji netto do 2050 r.

121

3.1	Wprowadzenie	122
3.2	Podaż paliw kopalnych	123
3.2.1	Trendy energetyczne w scenariuszu zerowych emisji netto (NZE)	123
3.2.2	Inwestycje w ropę naftową i gaz ziemny	126
3.2.3	Emisje z produkcji paliw kopalnych	127
3.3	Podaż paliw niskoemisyjnych	129
3.3.1	Trendy energetyczne w scenariuszu zerowych emisji netto	129
3.3.2	Biopaliwa	130
3.3.3	Wodór i paliwa na bazie wodoru	132
3.3.4	Kluczowe etapy i punkty decyzyjne	136
3.4	Sektor energii elektrycznej	139
3.4.1	Trendy w zakresie energii i emisji w scenariuszu zerowych emisji netto.....	139
3.4.2	Kluczowe etapy i punkty decyzyjne	143
3.5	Przemysł	149
3.5.1	Trendy w zakresie energii i emisji w scenariuszu zerowych emisji netto.....	149
3.5.2	Kluczowe etapy i punkty decyzyjne	159
3.6	Transport.....	162
3.6.1	Trendy w zakresie energii i emisji w scenariuszu zerowych emisji netto.....	162
3.6.2	Kluczowe etapy i punkty decyzyjne	170

3.7	Budynki	174
3.7.1	Trendy w zakresie energii i emisji w scenariuszu zerowych emisji netto	174
3.7.2	Kluczowe etapy i punkty decyzyjne	182

4

Szersze implikacje osiągnięcia zerowych emisji netto **187**

4.1	Wprowadzenie	188
4.2	Gospodarka	190
4.2.1	Inwestycje i finansowanie	190
4.2.2	Działalność gospodarcza	193
4.2.3	Zatrudnienie	195
4.3	Branża energetyczna	198
4.3.1	Ropa naftowa i gaz ziemny	198
4.3.2	Węgiel	200
4.3.3	Energia elektryczna	202
4.3.4	Energochłonne branże przemysłu	205
4.4	Obywatele	206
4.4.1	Cele Zrównoważonego Rozwoju związane z energią	206
4.4.2	Przystępność cenowa	210
4.4.3	Zmiany behawioralne	214
4.5	Rządy	215
4.5.1	Bezpieczeństwo energetyczne	215
4.5.2	Infrastruktura	222
4.5.3	Wpływy podatkowe z detalicznej sprzedaży energii	225
4.5.4	Innowacje	226
4.5.5	Współpraca międzynarodowa	230

Załączniki **235**

Załącznik A. Tabele do przewidywań wykorzystanych w scenariuszu	237
Załącznik B. Koszty technologii	246
Załącznik C. Definicje	248
Załącznik D. Bibliografia	265

Sektor energii jest obecnie źródłem około trzech czwartych emisji gazów cieplarnianych i to w jego rękach jest klucz do zapobieżenia najgorszym skutkom zmian klimatycznych, być może największym wyzwaniem, przed jakim kiedykolwiek stanęła ludzkość. Zmniejszenie do zera globalnych emisji netto dwutlenku węgla (CO₂) do 2050 r. jest zgodne z wysiłkami na rzecz ograniczenia długoterminowego wzrostu średnich temperatur na świecie do 1,5 °C. Wymaga to całkowitej zmiany sposobu produkcji, transportu i konsumpcji energii. Rosnący konsensus polityczny w sprawie osiągnięcia zerowego poziomu emisji netto jest powodem do znacznego optymizmu, jeśli chodzi o postępy, jakie może poczynić świat, ale wiedza na temat zmian niezbędnych do osiągnięcia zerowego poziomu emisji netto na świecie do 2050 r. jest ograniczona. Potrzeba ogromnej pracy, aby urzeczywistnić dzisiejsze imponujące ambicje, zwłaszcza biorąc pod uwagę różnice pomiędzy sytuacją w poszczególnych krajach i ich zróżnicowaną zdolność do wprowadzenia niezbędnych zmian. Niniejszy specjalny raport IEA przedstawia ścieżkę realizacji tego celu, której efektem będzie czysty i odporny system energetyczny, przynoszący znaczne korzyści dla dobrobytu i dobrostanu ludzi.

Przedstawiona w niniejszym raporcie globalna ścieżka do osiągnięcia zerowych emisji netto do 2050 r. wymaga od wszystkich rządów znacznego wzmocnienia, a następnie skutecznego wdrożenia polityk energetycznych i klimatycznych. Zobowiązania podjęte do tej pory są dalekie od tego, czego ta ścieżka wymaga. Liczba krajów, które zobowiązały się do osiągnięcia zerowych emisji netto gwałtownie wzrosła w ciągu ostatniego roku i obecnie obejmuje około 70% globalnych emisji CO₂. Jest to ogromny krok naprzód. Jednak większość zobowiązań nie została jeszcze poparta krótkoterminowymi strategiami i działaniami. Co więcej, nawet jeśli dotychczasowe zobowiązania zostałyby zrealizowane, to i tak w 2050 r. świat emitowałby około 22 mld ton CO₂. Utrzymanie tego trendu oznaczałoby wzrost temperatury w 2100 r. o około 2,1 °C. Globalne emisje spadły w 2020 r. z powodu kryzysu związanego z pandemią COVID-19, ale już teraz silnie rosną w miarę ożywiania się gospodarek. Dalsza zwłoka w działaniach zmierzających do odwrócenia tego trendu sprawi, że osiągnięcie zerowych emisji netto do 2050 r. będzie niemożliwe.

W niniejszym Streszczeniu dla decydentów przedstawiamy podstawowe warunki, które muszą zostać spełnione, aby globalny sektor energii osiągnął zerowe emisje netto CO₂ do 2050 r. Ścieżka opisana szczegółowo w niniejszym raporcie pozwala osiągnąć ten cel bez stosowania środków offsetowych poza sektorem energii i przy niewielkim uzależnieniu od technologii o ujemnej emisji. Ma ona na celu uzyskanie maksymalnej wykonalności technicznej, opłacalności i akceptacji społecznej przy jednoczesnym zapewnieniu stałego wzrostu gospodarczego i bezpiecznych dostaw energii. Zwracamy uwagę na priorytetowe działania, które są potrzebne już dziś, aby nie zaprzepaścić szansy na osiągnięcie zerowych emisji netto do 2050 roku – niewielkiej, ale wciąż istniejącej. Niniejszy raport charakteryzuje się globalnym spojrzeniem, ale poszczególne kraje nie zaczynają swoich działań w tym samym miejscu ani nie kończą ich w tym samym czasie: gospodarki rozwinięte muszą osiągnąć poziom zerowych emisji netto przed rynkami wschodzącymi i gospodarkami rozwijającymi się, a także pomóc innym w osiągnięciu tego celu. Zdajemy sobie również sprawę z tego, że

wytyczona tu trasa jest tylko jedną z możliwych ścieżek, dlatego też analizujemy niektóre kluczowe elementy niepewności, zwłaszcza dotyczące roli, jaką odegra bioenergia, wychwytywanie dwutlenku węgla i zmiany behawioralne. Osiągnięcie zerowych emisji netto będzie wymagać niezliczonych decyzji ludzi na całym świecie, ale naszym głównym celem jest zapewnienie informacji dla decydentów, którzy mają największy wpływ na przybliżenie świata do osiągnięcia celów klimatycznych.

Osiągnięcie zerowych emisji netto do 2050 r. zależy od bezprecedensowego impulsu dla czystych technologii przed 2030 r.

Ścieżka ku zerowym emisjom netto jest wąska: pozostanie na niej wymaga natychmiastowego i masowego wdrożenia wszystkich dostępnych czystych i wydajnych technologii energetycznych. W przedstawionym w niniejszym raporcie scenariuszu ścieżki prowadzącej zerowych emisji netto, w 2030 r. gospodarka światowa będzie o około 40% większa niż obecnie, ale będzie zużywać o 7% mniej energii. Istotnym elementem tych wysiłków jest silny globalny impuls do zwiększenia efektywności energetycznej, w wyniku którego roczna stopa poprawy energochłonności wyniesie do 2030 r. średnio 4%, czyli około trzykrotnie więcej niż średnia stopa osiągnięta w ciągu ostatnich dwóch dekad. Redukcja emisji z sektora energii nie ogranicza się do emisji CO₂: w przypadku naszej ścieżki emisje metanu z sektora podaży paliw kopalnych spadną o 75% w ciągu najbliższych dziesięciu lat w wyniku wspólnego globalnego wysiłku na rzecz zastosowania wszystkich dostępnych środków i technologii ograniczających emisje.

Coraz tańsze technologie energii odnawialnej dają energii elektrycznej przewagę w wyścigu ku zerowym emisjom. Nasza ścieżka zakłada szybkie zwiększenie wykorzystania energii słonecznej i wiatrowej w tej dekadzie, z rocznym przyrostem do 2030 r. wynoszącym 630 gigawatów (GW) energii z fotowoltaiki i 390 GW energii wiatrowej, czyli czterokrotnie więcej niż rekordowe poziomy osiągnięte w 2020 r. W przypadku fotowoltaiki odpowiada to mniej więcej codziennemu instalowaniu największego obecnie na świecie parku fotowoltaicznego. Energia wodna i jądrowa, dwa największe obecnie źródła niskoemisyjnej energii elektrycznej, stanowią zasadniczą podstawę planowanych przemian. W miarę jak sektor elektroenergetyczny będzie stawać się coraz czystszy, elektryfikacja stanie się kluczowym narzędziem redukcji emisji w całej gospodarce. Udział pojazdów elektrycznych w światowej sprzedaży samochodów wzrośnie z dzisiejszych 5% do ponad 60% w 2030 r.

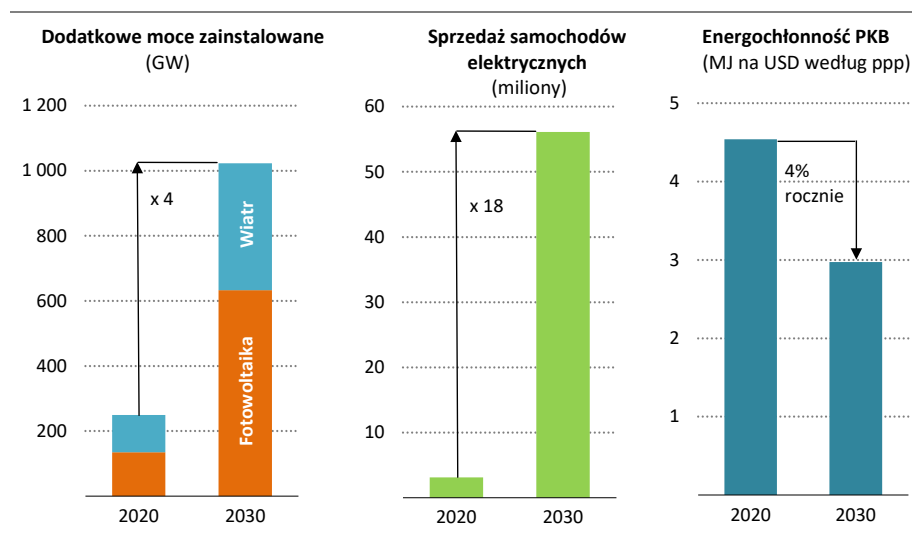
D Z I A Ł A N I E P R I O R Y T E T O W E

Uczynić lata 20. XXI wieku dekadą masowej ekspansji czystej energii

Wszystkie technologie potrzebne do osiągnięcia niezbędnej, głębokiej redukcji globalnych emisji do 2030 r. już istnieją, a polityki, które mogą przyspieszać ich wdrażanie, są już sprawdzone.

Ponieważ świat nadal zмага się ze skutkami pandemii COVID-19, istotne jest, aby nowa fala inwestycji i wydatków wspierających ożywienie gospodarcze była zgodna ze ścieżką zerowych emisji netto. Należy wzmocnić polityki mające na celu przyspieszenie wdrażania czystych i wydajnych technologii energetycznych. Nakazy i normy mają zasadnicze znaczenie dla napędzania wydatków konsumentów na najbardziej efektywne technologie i inwestycje przemysłu w te technologie. Cele i konkurencyjne aukcje mogą umożliwić energii wiatrowej i słonecznej przyspieszenie transformacji sektora energii elektrycznej. Wycofywanie dotacji do paliw kopalnych, opłaty od emisji dwutlenku węgla i inne reformy rynku mogą zapewnić odpowiednie sygnały cenowe. Polityki powinny ograniczać lub zniechęcać do stosowania niektórych paliw i technologii, takich jak elektrownie węglowe bez systemów ograniczających emisje, kotły gazowe i pojazdy z konwencjonalnymi silnikami spalinowymi. Rządy muszą przewodzić planowaniu i zachęcaniu do ogromnych inwestycji w infrastrukturę, w tym w inteligentne sieci przesyłowe i dystrybucyjne.

W ramach ścieżki zerowych emisji, do 2030 r. nabierze tempa wykorzystanie czystych technologii



Wyjaśnienie: MJ = megadžul; PKB = produkt krajowy brutto według parytetu siły nabywczej.

Osiągnięcie zerowych emisji netto do 2050 r. wymaga ogromnego skokowego postępu w zakresie innowacji w obszarze czystej energii

Osiągnięcie zerowego poziomu emisji netto do 2050 r. wymaga dalszego szybkiego wdrażania dostępnych technologii, jak również powszechnego wykorzystania technologii, które nie są jeszcze dostępne na rynku. Aby te nowe technologie mogły zostać wprowadzone na rynek w odpowiednim czasie, jeszcze w obecnej dekadzie muszą zostać

podjęte znaczne wysiłki w obszarze innowacji. Większa część z przewidzianej w ramach naszej ścieżki globalnej redukcji emisji CO₂ do roku 2030 wynika z zastosowania łatwo dostępnych już teraz technologii. Jednak w 2050 r. prawie połowa redukcji będzie pochodzić z technologii, które są obecnie w fazie demonstracji lub prototypu. W przemyśle ciężkim i transporcie na dużych odległościach udział redukcji emisji dzięki technologiom, które są obecnie w fazie rozwoju, jest jeszcze wyższy.

Największe możliwości innowacji dotyczą zaawansowanych akumulatorów, elektrolizerów wodoru oraz bezpośredniego wychwytywania i magazynowania dwutlenku węgla z powietrza. Łącznie te trzy obszary technologiczne istotnie przyczyniają się do redukcji emisji CO₂ w latach 2030-2050 w ramach naszej ścieżki. Innowacjom w ciągu następnych dziesięciu lat – nie tylko poprzez badania i rozwój (BiR) oraz demonstracje, ale także poprzez wdrażanie – musi towarzyszyć budowa na dużą skalę infrastruktury, której technologie te będą wymagać. Obejmuje to nowe rurociągi do transportu wychwyconego CO₂ oraz systemy do transportu wodoru w obszarach wytwarzania i pomiędzy portami i strefami przemysłowymi.

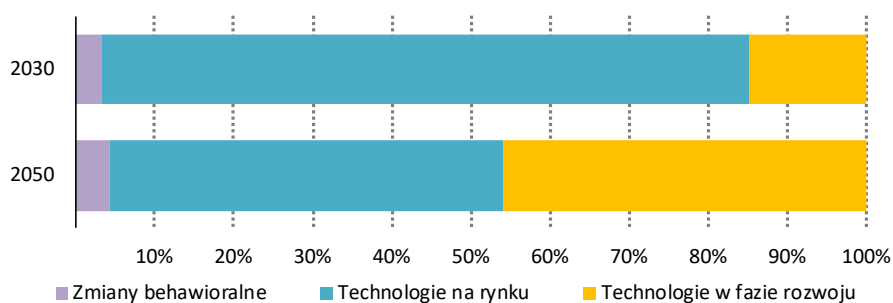
DZIAŁANIE PRIORYTETOWE

Przygotowanie się na kolejny etap transformacji poprzez zwiększenie innowacyjności

Innowacje w dziedzinie czystej energii muszą ulec dużemu przyspieszeniu, a rządy powinny umieścić badania i rozwój, demonstrację i wdrażanie w centrum polityk energetycznych i klimatycznych.

Należy zwiększyć wydatki rządowe na badania i rozwój oraz zmienić ich priorytety. Kluczowe obszary, takie jak elektryfikacja, wodór, bioenergia oraz wychwytywanie, wykorzystywanie i składowanie dwutlenku węgla (ang. *carbon capture, utilisation and storage* – CCUS), otrzymują obecnie finansowanie publiczne na badania i rozwój na poziomie jedynie około jednej trzeciej poziomu finansowania bardziej ugruntowanych technologii niskoemisyjnego wytwarzania energii elektrycznej i efektywności energetycznej. Wsparcie jest również potrzebne w celu przyspieszenia realizacji projektów demonstracyjnych, pobudzenia prywatnych inwestycji w badania i rozwój oraz zwiększenia ogólnej skali wdrożenia, aby pomóc w obniżeniu kosztów. Aby zrealizować portfel projektów demonstracyjnych przed 2030 r., należy jak najszybciej zmobilizować na całym świecie środki publiczne o wartości około 90 mld USD. Obecnie w budżetach na ten okres przewidziano jedynie około 25 mld USD. Rozwój i zastosowanie tych technologii stworzyłoby nowe, znaczące gałęzie przemysłu, a także możliwości w obszarze handlu i zatrudnienia.

Roczne ograniczenie emisji CO₂ na ścieżce ku zerowym emisjom netto, w stosunku do 2020 r.



W przejściu do zerowych emisji netto chodzi przede wszystkim o ludzi

Transformacja o skali i szybkości wymaganej w ramach ścieżki zerowych emisji netto nie może zostać osiągnięta bez trwałego wsparcia i udziału obywateli. Zmiany te będą miały wpływ na wiele aspektów życia ludzi – od transportu, ogrzewania i gotowania po planowanie przestrzenne i miejsca pracy. Szacujemy, że około 55% skumulowanej redukcji emisji w ramach opisanego przez nas ścieżki jest związane z wyborami konsumenckimi, takimi jak zakup samochodu elektrycznego, modernizacja domu z zastosowaniem energooszczędnych technologii lub instalacja pompy ciepła. Zmiany zachowań, w szczególności w gospodarkach rozwiniętych – takie jak poruszanie się pieszo, jazda na rowerze lub korzystanie z transportu publicznego zamiast z samochodu, czy też rezygnacja z lotów samolotem na długich dystansach – również przyczyniają się do około 4% łącznej redukcji emisji.

Zapewnienie energii elektrycznej około 785 milionom ludzi, którzy nie mają do niej dostępu oraz zapewnienie rozwiązań w zakresie czystego gotowania dla 2,6 miliarda ludzi, którzy nie mają takiej możliwości, jest nieodłączną częścią naszej ścieżki. Ograniczenie emisji musi iść w parze z wysiłkami na rzecz zapewnienia do 2030 r. dostępu do energii dla wszystkich ludzi. Koszt tych działań to około 40 mld USD rocznie, co odpowiada około 1% średnich rocznych inwestycji w sektorze energii, a jednocześnie przynosi znaczne dodatkowe korzyści w postaci zmniejszenia zanieczyszczenia powietrza w pomieszczeniach.

Niektóre zmiany wynikające z transformacji ku czystej energii mogą być trudne do wdrożenia, dlatego podejmowane decyzje muszą być transparentne, sprawiedliwe i opłacalne. Rządy muszą zagwarantować to, że transformacja w kierunku czystej energii będzie ukierunkowana na ludzi i inkluzyjna. Na naszej ścieżce ku zerowym emisjom netto, na rynkach wschodzących i w krajach rozwijających się część dochodu rozporządzalnego gospodarstw domowych, jaką stanowią wydatki na energię – w tym zakupy energooszczędnych urządzeń i rachunki za paliwo – rośnie w miarę, jak coraz więcej osób uzyskuje dostęp do energii i szybko rośnie popyt na nowoczesne usługi energetyczne. Zapewnienie przystępności cenowej energii dla gospodarstw domowych wymaga szczególnej

uwagi: narzędzia polityczne, które mogą skierować wsparcie do najuboższych obejmują ulgi podatkowe, pożyczki i celowane dotacje.

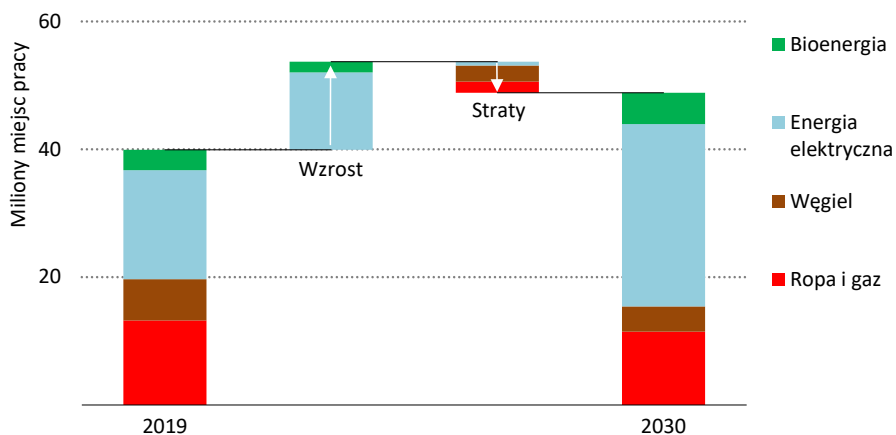
DZIAŁANIE PRIORYTETOWE

Liczba miejsc pracy związanych z czystą energią będzie szybko rosnąć, ale muszą one być szeroko dostępne

Transformacja energetyczna musi uwzględniać społeczne i ekonomiczne skutki dla osób i społeczności oraz traktować ludzi jako aktywnych uczestników.

Przejsie do zerowych emisji netto stwarza nowe możliwości zatrudnienia: dzięki nowym działaniom i inwestycjom w czystą energię, do 2030 r. powstanie 14 mln miejsc pracy. Wydatki na bardziej wydajne urządzenia, pojazdy elektryczne i napędzane ogniwami paliwowymi oraz modernizację budynków i budownictwo energooszczędne, wymagałyby zatrudnienia kolejnych 16 mln pracowników. Jednak te nowe miejsca pracy często występują w innych miejscach, wymagają innych umiejętności i dotyczą innych sektorów niż miejsca pracy, które zostaną zlikwidowane przez ograniczanie korzystania z paliw kopalnych. Nasza ścieżka wiąże się z utratą około 5 milionów miejsc pracy. Większość z tych miejsc pracy znajduje się w pobliżu zasobów paliw kopalnych, a wiele z nich jest dobrze płatnych, co oznacza, że zmiany strukturalne mogą stanowić wstrząs dla społeczności, a ich skutki mogą utrzymywać się przez dłuższy czas. Wymaga to zwrócenia we wdrażanych politykach szczególnej uwagi na problem utraty miejsc pracy. Zasadnicze znaczenie będzie miało zminimalizowanie problemów związanych z tymi zmianami, np. poprzez przekwalifikowanie pracowników, lokalizowanie nowych zakładów produkujących czystą energię na obszarach silnie dotkniętych zmianami, o ile będzie to możliwe, a także zapewnienie pomocy regionalnej.

Globalne zatrudnienie w sektorze dostaw energii w ramach ścieżki ku zerowym emisjom netto, 2019-2030



Sektor energii zdominowany przez odnawialne źródła energii

W ramach ścieżki ku zerowym emisjom netto, globalne zapotrzebowanie na energię w 2050 roku będzie o około 8% mniejsze niż obecnie, ale będzie generowane przez ponad dwukrotnie większą gospodarkę i populację większą o 2 miliardy ludzi. Bardziej efektywne wykorzystanie energii, efektywne gospodarowanie zasobami i zmiany zachowań będą równoważyć wzrost zapotrzebowania na usługi energetyczne w miarę rozwoju gospodarki światowej i zapewniania wszystkim dostępu do energii.

Zamiast na paliwach kopalnych, sektor energii opierać się będzie w dużej mierze na energii odnawialnej. Dwie trzecie całkowitej podaży energii w 2050 r. będzie stanowić energia wiatrowa, energia słoneczna, bioenergia, energia geotermalna i energia wodna. Energia słoneczna stanie się największym źródłem, odpowiadającym za jedną piątą całości. W okresie od chwili obecnej do 2050 r. moc instalacji fotowoltaicznych wzrośnie 20-krotnie, a energetyki wiatrowej 11-krotnie.

Zerowe emisje netto oznaczają ogromny spadek wykorzystania paliw kopalnych. Ich udział w całkowitych dostawach energii spadnie z prawie czterech piątych obecnie do nieco ponad jednej piątej w 2050 r. W 2050 r. paliwa kopalne wykorzystywane będą w towarach, w których węgiel stanowi część produktu, takich jak tworzywa sztuczne, w instalacjach wyposażonych w systemy CCUS oraz w sektorach, w których możliwości technologii niskoemisyjnych są ograniczone.

W 2050 r. energia elektryczna stanowić będzie prawie 50% całkowitego zużycia energii. Będzie ona odgrywać kluczową rolę we wszystkich sektorach – od transportu i budynków po przemysł – i będzie niezbędna do produkcji niskoemisyjnych paliw, takich jak wodór. Aby to osiągnąć, do 2050 r. całkowite wytwarzanie energii elektrycznej musi wzrosnąć ponad dwuipółkrotnie. Jednocześnie nie należy podejmować żadnych nowych decyzji dotyczących inwestycji w nowe elektrownie węglowe bez instalacji redukujących emisje; najmniej wydajne elektrownie węglowe zostaną wycofane z eksploatacji do 2030 r., a pozostałe elektrownie węglowe, które będą nadal eksploatowane do 2040 r., zostaną zmodernizowane. Do 2050 r. prawie 90% energii elektrycznej będzie pochodzić ze źródeł odnawialnych, przy czym energia z instalacji wiatrowych i fotowoltaicznych będzie stanowić łącznie prawie 70%. Większość pozostałej energii będzie pochodzić z elektrowni jądrowych.

Redukcja emisji z przemysłu, transportu i budynków wymaga dłuższego czasu. Zmniejszenie emisji z przemysłu o 95% do 2050 r. wiąże się z dużymi wysiłkami w zakresie budowy nowej infrastruktury. Po szybkim postępie innowacji osiągniętych dzięki badaniom i rozwojowi, projektom demonstracyjnym i wstępnym wdrożeniom do 2030 r. w celu wprowadzenia nowych czystych technologii na rynek, świat musi rozpocząć ich wykorzystywanie. Począwszy od 2030 r. każdego miesiąca dziesięć zakładów przemysłu ciężkiego będzie wyposażanych w systemy CCUS, powstaną trzy nowe zakłady przemysłowe oparte na wodorze, a w zakładach przemysłowych moc elektrolizerów będzie zwiększana o 2 GW. Polityka rezygnacji ze sprzedaży nowych samochodów z silnikami spalinowymi do 2035 r. i zwiększenia elektryfikacji stanowi podstawę ogromnego

ograniczenia emisji w transporcie. W 2050 r. samochody jeżdżące po drogach na całym świecie będą napędzane energią elektryczną lub ogniwami paliwowymi. Paliwa niskoemisyjne są niezbędne tam, gdzie potrzeby energetyczne nie mogą być łatwo lub ekonomicznie zaspokojone przez energię elektryczną. Na przykład lotnictwo w dużej mierze będzie opierać się na biopaliwach i paliwach syntetycznych, a amoniak będzie mieć kluczowe znaczenie dla transportu morskiego. W 2025 r. należy zacząć wprowadzać zakaz stosowania nowych kotłów na paliwa kopalne w budynkach, co zwiększy sprzedaż elektrycznych pomp ciepła. Większość starych budynków i wszystkie nowe spełniać będą wymogi norm energetycznych dla budynków przystosowanych do zerowej emisji dwutlenku węgla.¹

DZIAŁANIE PRIORYTETOWE

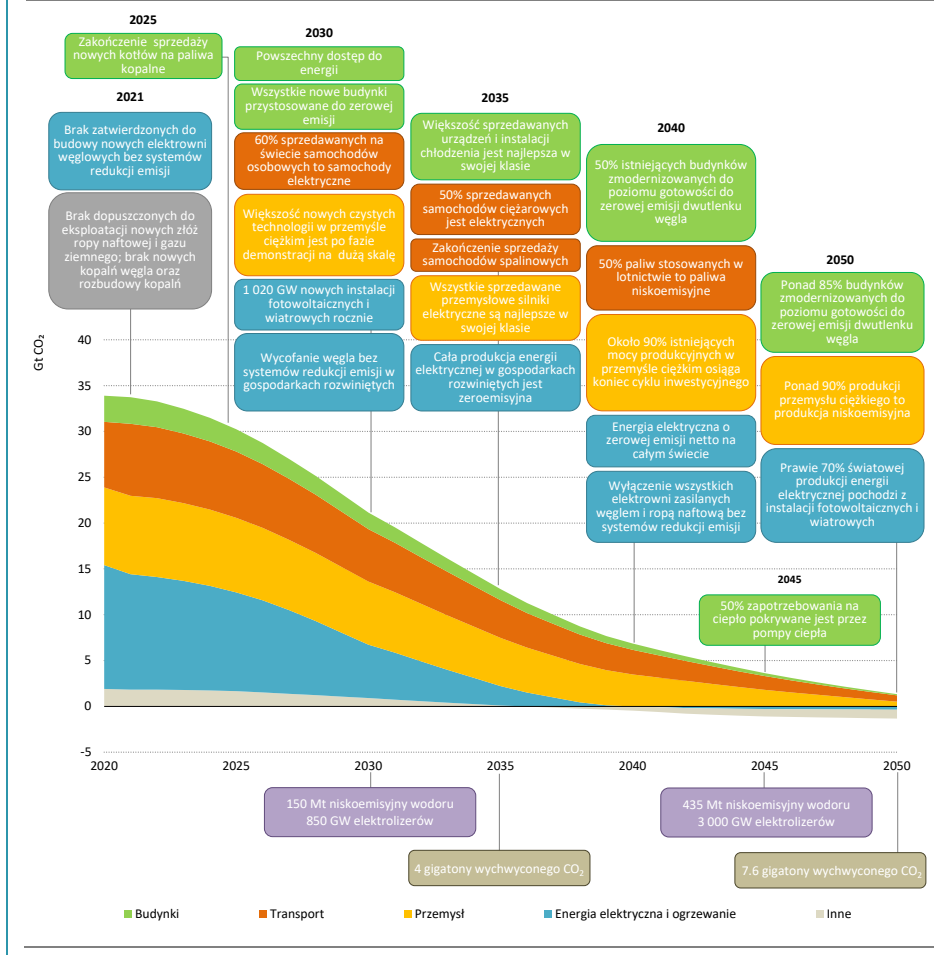
Wyznaczyć krótkoterminowe cele pośrednie służące realizacji celów długoterminowych

Rządy muszą przedstawić wiarygodne szczegółowe plany osiągnięcia swoich celów związanych z zerowymi emisjami netto, budując zaufanie wśród inwestorów, przemysłu, obywateli i innych krajów.

Rządy muszą wprowadzić długoterminowe ramy polityczne, aby umożliwić wszystkim działom administracji i zainteresowanym stronom planowanie zmian i ułatwić uporządkowaną transformację. Długoterminowe krajowe strategie niskoemisyjne, których przyjęcie postuluje się w Porozumieniu paryskim, mogą określać wizję przemian w poszczególnych krajach, tak jak niniejszy raport robi to na poziomie globalnym. Cele długoterminowe muszą być powiązane z wymiernymi celami i strategiami krótkoterminowymi. Nasza ścieżka wyszczególnia ponad 400 sektorowych i technologicznych etapów na globalnej drodze do osiągnięcia zerowych emisji netto do 2050 roku.

¹ Budynek przystosowany do zerowej emisji jest wysoce energooszczędny i albo bezpośrednio wykorzystuje energię odnawialną, albo korzysta z dostaw energii, które do 2050 r. zostaną całkowicie zdekarbonizowane, takich jak dostawy energii elektrycznej lub ciepła z sieci miejskich.

Kluczowe etapy ścieżki prowadzącej do zerowych emisji netto



W ramach naszej ścieżki prowadzącej do zerowych emisji netto nie ma potrzeby inwestowania w nowe dostawy paliw kopalnych

Poza projektami, do których realizacji zobowiązano się do roku 2021, nasza ścieżka nie przewiduje nowych pól naftowych i gazowych zatwierdzonych do eksploatacji, nie jest też wymagane otwieranie nowych kopalni węgla ani rozbudowa istniejących. Niezachwiana koncentracja polityk na zmianach klimatu w ramach ścieżki prowadzącej do zerowych emisji netto skutkować będzie gwałtownym spadkiem popytu na paliwa kopalne, co oznacza, że producenci ropy i gazu będą koncentrować się całkowicie na produkcji – i redukcji emisji – w ramach eksploatacji istniejących aktywów. Zapotrzebowanie na węgiel wykorzystywany bez systemów redukcji emisji spadnie w 2050 r. o 98%, do poziomu poniżej 1% całkowitego zużycia energii.

Zapotrzebowanie na gaz ziemny spadnie o 55% do 1 750 mld metrów sześciennych, a na ropę naftową o 75% do 24 mln baryłek dziennie (mb/d), z poziomu około 90 mb/d w 2020 r.

Wytwarzanie czystej energii elektrycznej, infrastruktura sieciowa i sektory wykorzystania końcowego to kluczowe obszary wzrostu inwestycji. Infrastruktura i technologie wspomagające mają zasadnicze znaczenie dla transformacji systemu energii. Roczne inwestycje w sieci przesyłowe i dystrybucyjne wzrosną z 260 mld USD obecnie do 820 mld USD w 2030 r. Liczba publicznych punktów ładowania pojazdów elektrycznych wzrośnie z około 1 mln obecnie do 40 mln w 2030 r., co wymagać będzie rocznych inwestycji w wysokości niemal 90 mld USD w 2030 r. Roczna produkcja akumulatorów do pojazdów elektrycznych wzrośnie z obecnych 160 gigawatogodzin (GWh) do 6 600 GWh w 2030 roku – co odpowiada budowie prawie 20 gigafabryk² każdego roku przez następne dziesięć lat. Wymagane upowszechnienie wodoru i systemów CCUS po 2030 r. oznacza konieczność rozpoczęcia prac przygotowawczych już teraz: roczne inwestycje w rurociągi CO₂ i infrastrukturę wodorową wzrosną z 1 mld USD obecnie do około 40 mld USD w 2030 r.

DZIAŁANIE PRIORYTETOWE

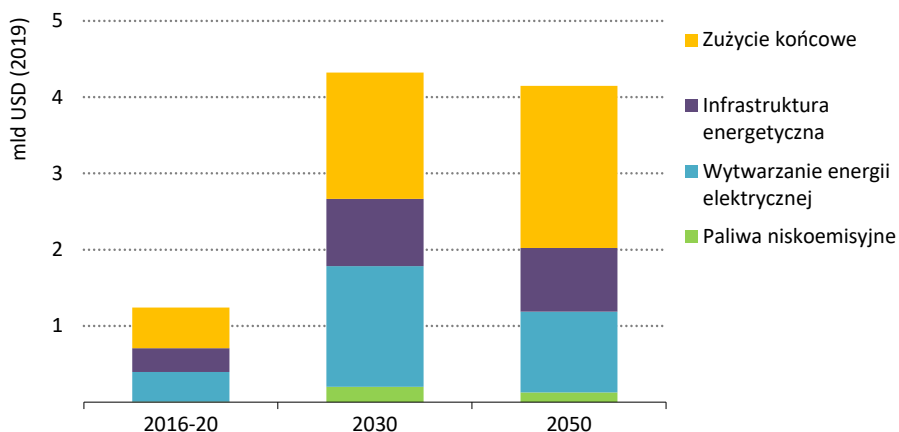
Doprowadzić do najwyższego w historii wzrostu inwestycji w czystą energię

Polityki poszczególnych krajów muszą być skonstruowane w taki sposób, aby wysłać sygnały rynkowe, które odblokują nowe modele biznesowe i będą stymulować wydatki prywatne, zwłaszcza na rynkach wschodzących.

Przyspieszenie zapewnienia międzynarodowego finansowania ze środków publicznych będzie mieć zasadnicze znaczenie dla przemian energetycznych, zwłaszcza w gospodarkach rozwijających się, ale ostatecznie to sektor prywatny będzie musiał sfinansować większość wymaganych dodatkowych inwestycji. Pozyskanie kapitału na wydatki związane z infrastrukturą o dużej skali wymagać będzie ściślejszej współpracy między podmiotami prowadzącymi prace rozwojowe, inwestorami, publicznymi instytucjami finansowymi i rządami. Zmniejszenie ryzyka dla inwestorów będzie mieć zasadnicze znaczenie dla zapewnienia udanej i przystępnej cenowo transformacji w kierunku czystej energii. Wiele rynków wschodzących i gospodarek rozwijających się, które polegają głównie na publicznym finansowaniu nowych projektów energetycznych i obiektów przemysłowych, będzie musiało zreformować swoją politykę i ramy regulacyjne, aby przyciągnąć więcej prywatnych środków finansowych. Międzynarodowe przepływy długoterminowego kapitału do tych gospodarek będą niezbędne do wspierania rozwoju zarówno istniejących, jak i nowopowstających technologii czystej energii.

² Zakładana wydajność gigafabryki akumulatorów = 35 gigawatogodzin rocznie.

Inwestycje w czystą energię na ścieżce ku zerowym emisjom netto



Niespotykany wzrost w obszarze inwestycji w czystą energię zwiększy wzrost gospodarczy w skali globalnej

Zgodnie z naszą analizą przeprowadzoną wspólnie z Międzynarodowym Funduszem Walutowym, całkowita roczna wartość inwestycji w sektorze energii wzrośnie do 2030 r. do 5 bilionów USD, co zwiększy roczny globalny wzrost PKB o 0,4 p.p. Ten wyjątkowy wzrost – przy ponad trzykrotnym wzroście inwestycji w czystą energię i infrastrukturę energetyczną już do 2030 r. – przyniesie znaczące korzyści gospodarcze w miarę wychodzenia świata z kryzysu związanego z pandemią COVID-19. Skokowy wzrost wydatków prywatnych i rządowych stworzy miliony miejsc pracy w sektorze czystej energii, w tym w obszarze efektywności energetycznej, a także w branży inżynieryjnej, produkcyjnej i budowlanej. Wszystko to sprawi, że globalny PKB w 2030 r. będzie o 4% wyższy, niż wynikałoby to z obecnych trendów.

Rządy odgrywają kluczową rolę w umożliwianiu wzrostu opartego na inwestycjach i zapewnianiu tego, aby odbywał się on z korzyścią dla wszystkich. Istnieją duże różnice pomiędzy poszczególnymi regionami, jeśli chodzi o skutki makroekonomiczne tych zmian. Jednak inwestycje rządowe i polityki publiczne są warunkiem koniecznym przyciągnięcia dużych ilości kapitału prywatnego i pomocy w zrównoważeniu spadku dochodów z paliw kopalnych, którego doświadczy wiele krajów. Duże wysiłki innowacyjne niezbędne do wprowadzenia na rynek nowych technologii czystej energii mogłyby zwiększyć wydajność i stworzyć zupełnie nowe gałęzie przemysłu, zapewniając możliwości ich lokalizacji na obszarach, które doświadczyły utraty miejsc pracy w dotychczasowych gałęziach przemysłu. Poprawa jakości powietrza przyniesie znaczne korzyści zdrowotne: w przypadku realizacji ścieżki prowadzącej do zerowych emisji netto, w 2030 r. liczba przedwczesnych zgonów spowodowanych zanieczyszczeniem powietrza na świecie będzie o 2 mln mniejsza niż

obecnie. Osiągnięcie powszechnego dostępu do energii do 2030 r. stanowiłoby istotny bodziec dla poprawy dobrobytu i wydajności w gospodarkach rozwijających się.

Pojawią się nowe obawy związane z bezpieczeństwem energetycznym, jednak dotychczasowe nie znikną

Zmniejszenie wydobycia ropy naftowej i gazu ziemnego będzie mieć daleko idące konsekwencje dla wszystkich krajów i firm, które wytwarzają te paliwa. Na naszej ścieżce nie będą potrzebne nowe złoża ropy naftowej i gazu ziemnego, a dostawy ropy naftowej i gazu ziemnego będą w coraz większym stopniu realizowane przez niewielką liczbę producentów gdzie wydobycie jest najtańsze. W przypadku ropy naftowej, udział OPEC w znacznie zmniejszonej światowej podaży ropy wzrośnie z około 37% w ostatnich latach do 52% w 2050 r., czyli do poziomu wyższego niż kiedykolwiek w historii rynków ropy naftowej. Jednak roczny dochód na mieszkańca pochodzący z ropy naftowej i gazu ziemnego w gospodarkach wytwarzających te surowce spadnie o około 75%, z 1 800 USD w ostatnich latach do 450 USD do roku 2030, co może wywołać efekt domina w społeczeństwie. Niezbędne będą reformy strukturalne i nowe źródła dochodów, nawet jeśli jest mało prawdopodobne, by mogły one w pełni zrekompensować spadek dochodów z ropy naftowej i gazu ziemnego. Chociaż tradycyjna działalność w zakresie dostaw ulegnie osłabieniu, wiedza fachowa przemysłu naftowego i gazowego dobrze pasuje do technologii takich jak wodór, systemy CCUS i morska energia wiatrowa, które są potrzebne do rozwiązania problemu emisji w sektorach, w których redukcja emisji będzie prawdopodobnie najtrudniejsza.

Transformacja energetyczna wymagać będzie znacznych ilości minerałów krytycznych, a ich dostawy stają się znaczącym obszarem wzrostu. Całkowita wielkość rynku minerałów krytycznych, takich jak miedź, kobalt, mangan i różne metale ziem rzadkich, wzrośnie prawie siedmiokrotnie w latach 2020-2030 w ramach realizacji ścieżki ku zerowym emisjom netto. Przychody z tych minerałów będą większe niż przychody z węgla już na wiele lat przed rokiem 2030. Stwarza to istotne nowe możliwości dla firm górniczych. Stwarza to również nowe problemy związane z bezpieczeństwem energetycznym, w tym niestabilność cen i dodatkowe koszty związane z transformacją, jeżeli podaż nie będzie w stanie sprostać rosnącemu popytowi.

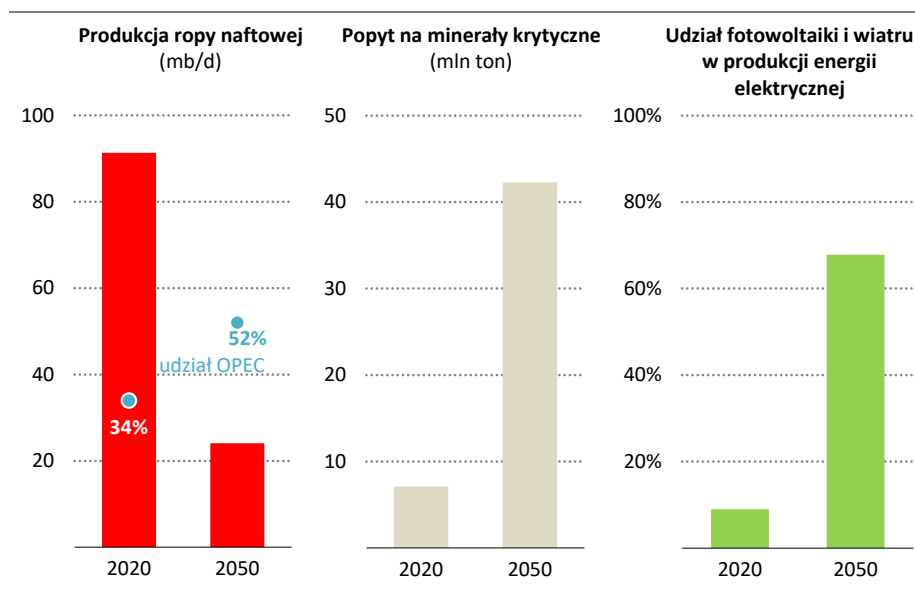
Szybka elektryfikacja wszystkich sektorów sprawi, że energia elektryczna będzie mieć, jeszcze bardziej niż obecnie, kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa energetycznego na całym świecie. Elastyczność systemu elektroenergetycznego – niezbędna do bilansowania energii wiatrowej i fotowoltaicznej wraz ze zmieniającymi się wzorcami konsumpcji – wzrośnie do 2050 r. czterokrotnie, nawet jeśli redukcja mocy obiektów zasilanych paliwami kopalnymi ograniczy konwencjonalne źródła tej elastyczności. Zmiana ta wymagać będzie znacznego zwiększenia wszystkich źródeł elastyczności: akumulatorów, zarządzania popytem oraz niskoemisyjnych elastycznych elektrowni, wspieranych przez inteligentniejsze i bardziej ucyfrowione sieci elektroenergetyczne. Konieczne będzie zwiększenie odporności systemów elektroenergetycznych na ataki cybernetyczne i inne pojawiające się zagrożenia.

Reagowanie już teraz na pojawiające się zagrożenia dla bezpieczeństwa energetycznego

Zapewnienie nieprzerwanych i niezawodnych dostaw energii oraz kluczowych towarów związanych z energią po przystępnych cenach będzie mieć coraz większe znaczenie na drodze do zerowych emisji netto.

Środek ciężkości bezpieczeństwa energetycznego będzie przesuwac się wraz z rosnącym uzależnieniem od odnawialnej energii elektrycznej i malejącą rolą ropy naftowej i gazu ziemnego. Potencjalne słabe punkty wynikające z rosnącego znaczenia energii elektrycznej obejmują zmienność dostaw i ryzyko związane z bezpieczeństwem cybernetycznym. Rządy muszą stworzyć rynki dla inwestycji w akumulatory, rozwiązania cyfrowe i sieci elektroenergetyczne, które będą promować elastyczność i umożliwiać odpowiednie i niezawodne dostawy energii elektrycznej. Rosnąca zależność od minerałów krytycznych niezbędnych do wdrożenia kluczowych technologii czystej energii wymagać będzie nowych międzynarodowych mechanizmów zapewniających zarówno terminowość dostaw, jak i przyjazną środowisku produkcję. Jednocześnie nie znikną tradycyjne obawy związane z bezpieczeństwem energetycznym, ponieważ produkcja ropy naftowej będzie coraz bardziej skoncentrowana.

Wskaźniki globalnego bezpieczeństwa energetycznego dla ścieżki zerowych emisji netto



Dla osiągnięcia zerowych emisji netto do 2050 r. kluczowe znaczenie będzie mieć współpraca międzynarodowa

Osiągnięcie celu, jakim są zerowe emisje netto zależy od wysokiej i nieustannej koncentracji wszystkich rządów, które muszą współpracować zarówno ze sobą nawzajem, jak i z przedsiębiorstwami, inwestorami i obywatelami. Wszystkie zainteresowane strony muszą wykonać swoje zadania. Szeroko zakrojone działania podejmowane przez rządy na wszystkich szczeblach w ramach ścieżki ku zerowym emisjom netto pomogą określić ramy działania oraz będą wpływać na konsumentów i firmy oraz stwarzać dla nich zachęty do odpowiednich zakupów i inwestycji. Dotyczy to sposobu, w jaki przedsiębiorstwa energetyczne będą inwestować w nowe sposoby wytwarzania i dostarczania usług energetycznych, sposobu, w jaki przedsiębiorstwa będą inwestować w sprzęt oraz sposobu, w jaki konsumenci będą chłodzić i ogrzewać swoje domy, zasilać swoje urządzenia i podróżować.

U podstaw wszystkich tych zmian leżą decyzje polityczne podejmowane przez rządy. Opracowanie efektywnych kosztowo krajowych i regionalnych planów działania na rzecz zerowych emisji netto wymagać będzie współpracy pomiędzy wszystkimi organami rządowymi, która pozwoli na wyeliminowanie podziałów i włączy aspekty związane z energetyką do polityk każdego kraju w obszarze finansów, pracy, podatków, transportu i przemysłu. Same ministerstwa energii lub środowiska nie są w stanie przeprowadzić działań politycznych koniecznych do osiągnięcia zerowych emisji netto do 2050 r.

Zmiany w zużyciu energii skutkować będą znacznym spadkiem wpływów z podatków od paliw kopalnych. Obecnie w wielu krajach podatki od zużycia oleju napędowego, benzyny i innych paliw kopalnych stanowią ważne źródło dochodów publicznych, w niektórych przypadkach stanowiąc nawet 10% tych dochodów. W przypadku ścieżki zerowych emisji netto, wpływy podatkowe ze sprzedaży detalicznej ropy naftowej i gazu ziemnego spadną o około 40 % w latach 2020-2030. Zarządzanie tym spadkiem będzie wymagać długoterminowego planowania fiskalnego i reform budżetowych.

Ścieżka ku zerowym emisjom netto opiera się na bezprecedensowej współpracy międzynarodowej między rządami, zwłaszcza w zakresie innowacji i inwestycji. IEA jest gotowa wspierać rządy w przygotowywaniu krajowych i regionalnych planów działania w celu osiągnięcia zerowych emisji netto, udzielać wskazówek i pomocy w ich wdrażaniu oraz promować współpracę międzynarodową w celu przyspieszenia transformacji energetycznej na całym świecie.

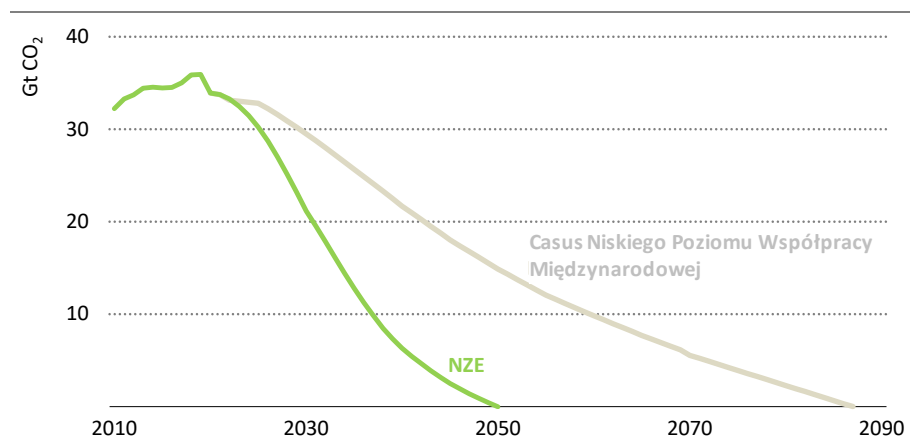
DZIAŁANIE PRIORYTETOWE

Wejście na nowy, wyższy poziom współpracy międzynarodowej

Nie chodzi tu jedynie o to, by wszystkie rządy starały się doprowadzić swoje krajowe emisje netto do poziomu zerowego netto, ale oznacza to stawienie czoła globalnym wyzwaniom poprzez skoordynowane działania.

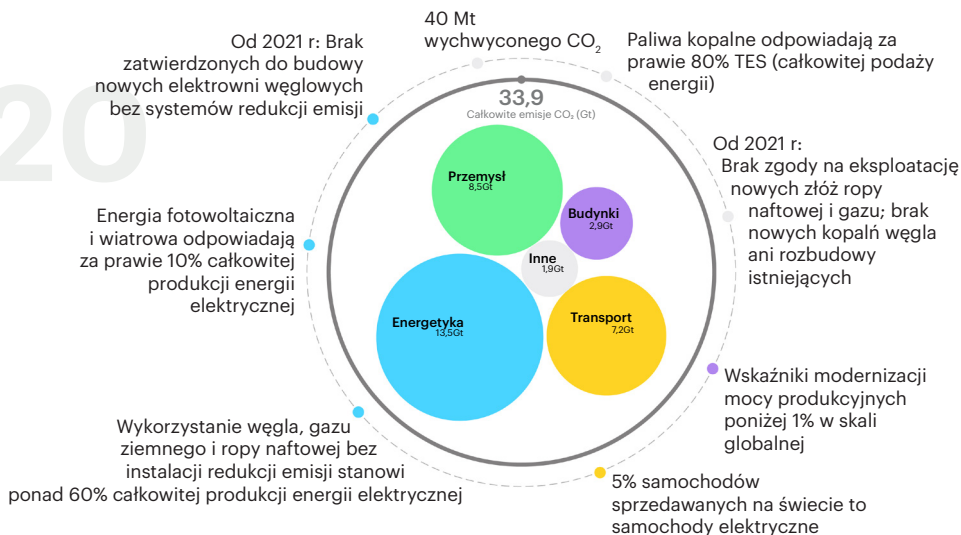
Rządy muszą współpracować ze sobą w sposób skuteczny i korzystny dla obu stron, aby realizować spójne działania o charakterze transgranicznym. Obejmuje to staranne zarządzanie tworzeniem miejsc pracy w kraju oraz lokalnymi przewagami handlowymi, przy jednoczesnym uwzględnieniu globalnej potrzeby wdrażania technologii czystej energii. Przyspieszenie innowacji, opracowanie norm międzynarodowych i koordynacja w celu zwiększenia skali czystych technologii muszą odbywać się w sposób, który łączy rynki krajowe. Współpraca musi uwzględniać różnice w etapach rozwoju różnych krajów oraz zróżnicowaną sytuację różnych grup społecznych. Dla wielu bogatych krajów osiągnięcie zerowych emisji netto będzie trudniejsze i bardziej kosztowne bez współpracy międzynarodowej. Dla wielu krajów rozwijających się droga do osiągnięcia zerowego poziomu emisji netto bez pomocy międzynarodowej nie jest jednoznaczna. Aby zapewnić wdrożenie kluczowych technologii i infrastruktury, konieczne jest wsparcie techniczne i finansowe. Bez ściślejszej współpracy międzynarodowej globalne emisje CO₂ nie spadną do poziomu zerowego netto do 2050 r.

Globalne emisje CO₂ związane z energią w ramach ścieżki zerowych emisji netto i w Casusie Niskiego Poziomu Współpracy Międzynarodowej

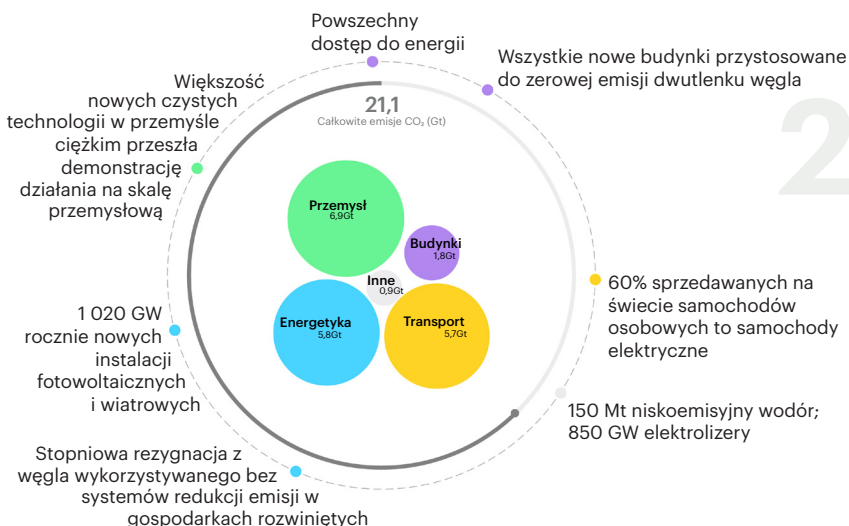


Wyjaśnienie: Gt = gigatony.

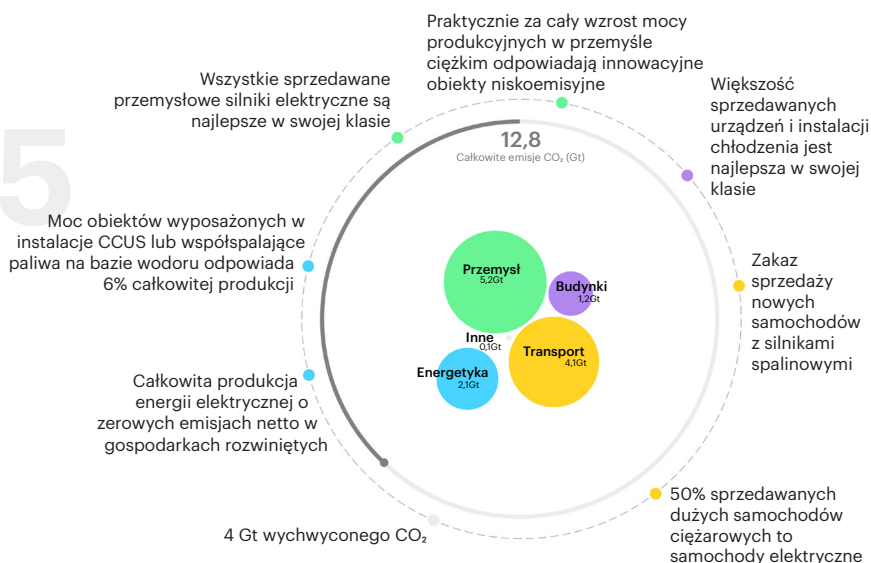
2020



2030



2035



Okolo 90% istniejacych mocy produkcyjnych w przemyśle cięzkim dochodzi do końca cyklu inwestycyjnego

50% istniejacych budynków zmodernizowanych do standardu budynku przystosowanego do zerowej emisji dwutlenku węgla

50% paliw stosowanych w lotnictwie to paliwa niskoemisyjne

2040

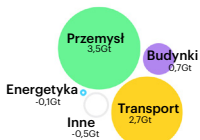
Energia elektryczna o zerowej emisji netto na całym świecie

Stopniowe wyłączenie wszystkich elektrowni węglowych i zasilanych ropą naftową niewyposażonych w systemy redukcji emisji

Moc elektrolizerów osiąga 2 400 GW

Popyt na ropę wynosi 50% poziomu z 2020 r.

6,3
Całkowite emisje CO₂ (Gt)



2050

Ponad 90% produkcji przemysłu ciężkiego to produkcja niskoemisyjna

Ponad 85% budynków przystosowanych do zerowej emisji dwutlenku węgla

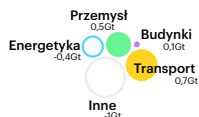
Udział odnawialnych źródeł energii w całkowitej produkcji energii elektrycznej wynosi prawie 90%

Prawie 70% światowej produkcji energii elektrycznej pochodzi z instalacji fotowoltaicznych i wiatrowych

520 Mt niskoemisyjnego wodoru

7,6 Gt wychwyconego CO₂

0
Całkowite emisje CO₂ (Gt)



Ogłoszone zobowiązania dotyczące zerowych emisji netto oraz sektor energii

P O D S U M O W A N I E

- W ciągu ostatniego roku liczba rządów, które zobowiązały się do redukcji emisji gazów cieplarnianych netto do zera gwałtownie wzrosła. Dotychczasowe zobowiązania do redukcji emisji netto do zera obejmują około 70% światowego PKB i emisji CO₂. Jednak mniej niż jedna czwarta ogłoszonych zobowiązań dotyczących zerowych emisji netto została zapisana w ustawodawstwie krajowym, a tylko nieliczne z nich są poparte konkretnymi działaniami lub politykami mającymi na celu ich pełną i terminową realizację.
- Scenariusz Ogłoszonych Polityk (STEPS) uwzględnia jedynie konkretne polityki, które już są realizowane lub zostały ogłoszone przez rządy. Roczne emisje CO₂ związane z energią i procesami przemysłowymi wzrosną z 34 Gt w 2020 r. do 36 Gt w 2030 r. i utrzymają się na tym poziomie do 2050 r. Jeżeli utrzyma się ten trend w zakresie emisji, przy podobnych zmianach w emisjach gazów cieplarnianych niezwiązanych z energią, doprowadzi to do 2100 r. do wzrostu temperatury o około 2,7 °C (z prawdopodobieństwem 50%). Odnawialne źródła energii zapewnią prawie 55% światowej produkcji energii elektrycznej w 2050 r. (w porównaniu z 29% w 2020 r.), ale przemiany w zakresie czystej energii w innych sektorach będą opóźnione. Globalne zużycie węgla spadnie o 15% w latach 2020-2050, zużycie ropy naftowej w 2050 r. będzie o 15% wyższe niż w 2020 r., a zużycie gazu ziemnego będzie wyższe o prawie 50%.
- Casus Ogłoszonych Zobowiązań (APC) zakłada, że wszystkie ogłoszone krajowe zobowiązania dotyczące zerowych emisji netto zostaną zrealizowane w całości i w terminie, niezależnie od tego, czy są one obecnie poparte konkretnymi politykami czy nie. Globalne emisje CO₂ związane z energią i procesami przemysłowymi spadną do 30 Gt w 2030 r. i 22 Gt w 2050 r. Utrzymanie tego trendu, przy podobnych działaniach w zakresie emisji gazów cieplarnianych niezwiązanych z energią, doprowadzi do 2100 r. do wzrostu temperatury o około 2,1 °C (z prawdopodobieństwem 50%). Globalna produkcja energii elektrycznej ulegnie niemal podwojeniu i w 2050 r. przekroczy 50 000 TWh. Udział odnawialnych źródeł energii w produkcji energii elektrycznej wzrośnie w 2050 r. do prawie 70%. Popyt na ropę naftową nie wróci do szczytowej wartości z 2019 roku i spadnie względem 2020 r. o około 10%, do 80 mb/d w roku 2050. Zużycie węgla spadnie o 50% do 2 600 Mtce w 2050 r., natomiast zużycie gazu ziemnego wzrośnie o 10% do 4 350 mld m³ w 2025 r. i pozostanie na tym poziomie do 2050 r.
- Efektywność, elektryfikacja i zastąpienie węgla źródłami niskoemisyjnymi w produkcji energii elektrycznej odgrywać będą kluczową rolę w osiągnięciu celu zerowych emisji netto w APC, zwłaszcza w okresie do 2030 r. Względny udział energii

jądrowej, wodorowej, bioenergii i systemów CCUS różni się w poszczególnych krajach, w zależności od ich uwarunkowań.

- Rozbieżność trendów pomiędzy scenariuszem APC a scenariuszem STEPS pokazuje różnicę, jaką mogą sprawić obecne zobowiązania do osiągnięcia zerowych emisji netto, podkreślając jednocześnie potrzebę wdrożenia konkretnych polityk i planów krótkoterminowych, które są zgodne z długoterminowymi zobowiązaniami do zerowych emisji netto. Jednak scenariusz APC podkreśla również wyraźnie, że obecne zobowiązania do osiągnięcia zerowych emisji netto, nawet jeśli zostaną w pełni zrealizowane, znacznie odbiegają od tego, co jest niezbędne do osiągnięcia zerowych emisji netto w skali globalnej do 2050 r.

1.1 Wprowadzenie

W listopadzie 2021 roku odbędzie się (COP 26), najważniejsza Konferencja Stron Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmian Klimatu (UNFCCC) od czasu podpisania Porozumienia paryskiego w 2015 roku. W miarę zbliżania się COP 26 coraz więcej krajów ogłasza długoterminowe cele w zakresie osiągnięcia zerowych emisji netto gazów cieplarnianych (GHG) w nadchodzących dziesięcioleciach. W dniu 31 marca 2021 r., Międzynarodowa Agencja Energetyczna (IEA) zorganizowała Net Zero Summit, aby podsumować rosnącą listę zobowiązań krajów i firm do osiągnięcia celów Porozumienia paryskiego oraz skupić się na działaniach niezbędnych do rozpoczęcia realizacji tych celów.

Osiągnięcie tych celów będzie trudnym zadaniem. Pandemia COVID-19 wywołała poważny wstrząs w gospodarce światowej, powodując bezprecedensowy spadek emisji CO₂ o 5,8% w 2020 r. Nasze miesięczne dane pokazują jednak, że globalne emisje CO₂ związane z energią zaczęły ponownie wzrastać w grudniu 2020 r. i szacujemy, że w 2021 r. ponownie wzrosną one do poziomu około 33 gigaton dwutlenku węgla (Gt CO₂), czyli jedynie 1,2% poniżej poziomu z 2019 r. (IEA, 2021). Pakiety na rzecz trwałegożywienia gospodarczego stanowiły wyjątkową okazję, aby w roku 2019 odnotowano ostateczny szczyt światowych emisji, ale dotychczasowe dane wskazują na ponowny wzrost emisji równoległy z powrotem wzrostu gospodarczego, przynajmniej w najbliższej perspektywie (IEA, 2020a).

Ostatnie analizy IEA wiązały się z oceną technologii i polityk, które kraje i regiony muszą wdrożyć w celu wprowadzenia systemów energetycznych o zerowych emisjach netto. W dokumencie *World Energy Outlook 2020* przeprowadzono analizę działań, jakie należy podjąć do 2030 r., aby wprowadzić świat na ścieżkę prowadzącą do zerowych emisji netto do 2050 r. w kontekścieżywienia gospodarczego po okresie pandemii (IEA, 2020b). W Casusie Szybszej Innowacji przedstawionym w raporcie *Energy Technology Perspectives 2020* zbadano, czy możliwe jest osiągnięcie zerowego poziomu emisji netto w skali globalnej do 2050 r. wyłącznie dzięki przyspieszonemu rozwojowi i wdrażaniu technologii energetycznych: wykazano, że w porównaniu z trendami bazowymi, prawie połowa redukcji emisji potrzebnej do osiągnięcia zerowego poziomu emisji netto w 2050 r. zależy od technologii, które nie są jeszcze dostępne na rynku (IEA, 2020c).

W niniejszym raporcie specjalnym, opracowanym na wniosek brytyjskiej Prezydencji COP 26, połączono spostrzeżenia i wnioski wyciągnięte z obu raportów, aby stworzyć kompleksową i szczegółową ścieżkę lub plan działania prowadzący do osiągnięcia zerowego poziomu emisji CO₂ netto związanych z energią i procesami przemysłowymi na całym świecie do 2050 r. Raport ten przedstawia ocenę kosztów osiągnięcia tego celu, prawdopodobny wpływ na zatrudnienie i gospodarkę oraz szersze implikacje dla świata. Podkreślono w nim również kluczowe etapy w zakresie technologii, infrastruktury, inwestycji i polityk, które muszą zostać zrealizowane do 2050 r.

Niniejszy raport składa się z czterech rozdziałów:

- **Rozdział 1** zawiera analizę perspektyw globalnych emisji CO₂ oraz podaży i zużycia energii w oparciu o obecne polityki i zobowiązania. Zawiera on prognozy globalnego zużycia energii i emisji oparte na **Scenariuszu Ogłoszonych Polityk** (Stated Policies Scenario, STEPS), który uwzględni tylko te polityki, które już obowiązują lub zostały ogłoszone przez kraje, w tym Wkłady Ustalone na Poziomie Krajowym (Nationally Determined Contributions, NDC). Zbadano w nim również **Casus Ogłoszonych Zobowiązań** (Announced Pledges Case, APC), czyli wariant scenariusza STEPS, w którym zakłada się, że wszystkie cele w zakresie zerowych emisji netto ogłoszone do tej pory przez kraje na całym świecie zostaną w pełni zrealizowane.
- **Rozdział 2** przedstawia **Scenariusz Zerowych Emisji Netto do 2050 r. (NZE)**, w którym opisano jak będzie musiało zmienić się zapotrzebowanie na energię i miks energetyczny, jeśli świat ma osiągnąć zerowe emisje netto do 2050 r. Oceniono w nim również odpowiednie potrzeby inwestycyjne i kluczowe niewiadome związane z technologią i zachowaniami konsumentów.
- **Rozdział 3** analizuje wpływ scenariusza NZE na różne sektory, w tym dostawy paliw kopalnych, dostawy paliw niskoemisyjnych (takich jak wodór, amoniak, biopaliwa, paliwa syntetyczne i biometan) oraz sektory energii elektrycznej, transportu, przemysłu i budynków. Podkreślono w nim kluczowe zmiany konieczne do osiągnięcia zerowych emisji netto w scenariuszu NZE oraz główne etapy, które muszą zostać zrealizowane.
- **Rozdział 4** omawia implikacje scenariusza NZE dla gospodarki, przemysłu energetycznego, obywateli i rządów.

1.2 Cele w zakresie redukcji emisji i zobowiązania do osiągnięcia zerowych emisji netto

1.2.1 Wkłady Ustalone na Poziomie Krajowym

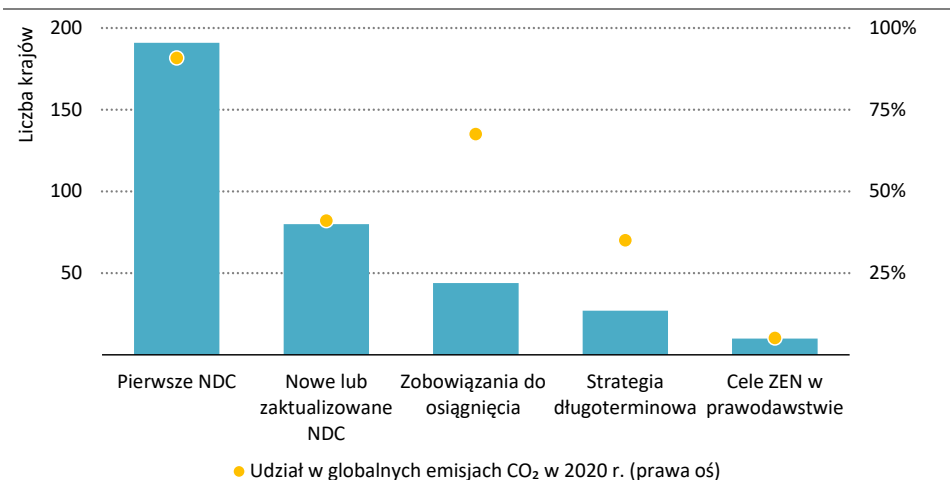
Zgodnie z Porozumieniem paryskim, jego strony¹ są zobowiązane do przedstawienia Wkładów Ustalonych na Poziomie Krajowym (NDC) do UNFCCC oraz do wdrożenia polityki

¹ Strony to 197 członków UNFCCC, w tym wszystkie państwa członkowskie ONZ, Państwo Obserwator Zgromadzenia Ogólnego ONZ - Palestyna, państwa niebędące członkami ONZ - Niue i Wyspy Cooka oraz Unia Europejska.

mających na celu osiągnięcie określonych przez nie celów. Proces ten ma charakter dynamiczny: wymaga on od stron stopniowej aktualizacji swoich NDC co pięć lat, tak aby odzwierciedlały one najwyższe możliwe ambicje. NDC złożone przez 191 krajów w pierwszej rundzie obejmują ponad 90% światowych emisji CO₂ związanych z energią i procesami przemysłowymi.² Pierwsze NDC obejmowały niektóre cele bezwarunkowe oraz inne, które były uzależnione od międzynarodowego wsparcia finansowego, technologicznego i innych środków służących ich realizacji.

Do dnia 23 kwietnia 2021 r., 80 krajów przedłożyło UNFCCC nowe lub zaktualizowane NDC, obejmujące nieco ponad 40% światowych emisji CO₂ (Rysunek 1.1).³ Wiele spośród zaktualizowanych NDC obejmuje bardziej rygorystyczne cele niż określone w pierwszej rundzie składania NDC lub cele dotyczące większej liczby sektorów lub szerszego zakresu gazów cieplarnianych. Ponadto 27 państw i Unia Europejska przekazały UNFCCC długoterminowe strategie rozwoju w zakresie niskich emisji gazów cieplarnianych, zgodnie z wymogami Porozumienia paryskiego. Niektóre z tych strategii zawierają zobowiązanie do osiągnięcia zerowych emisji netto.

Rysunek 1.1 ▶ Liczba krajów posiadających NDC, strategie długoterminowe i zobowiązania do osiągnięcia zerowych emisji netto oraz ich udział w globalnych emisjach CO₂ w 2020 r.



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Okolo 40% krajów, które ratyfikowały Porozumienie paryskie zaktualizowało swoje NDC, ale zobowiązania do osiągnięcia zerowych emisji netto obejmują okolo 70% globalnej emisji CO₂

² O ile nie stwierdzono inaczej, emisje CO₂ w niniejszym raporcie oznaczają emisje CO₂ związane z energią i procesami przemysłowymi.

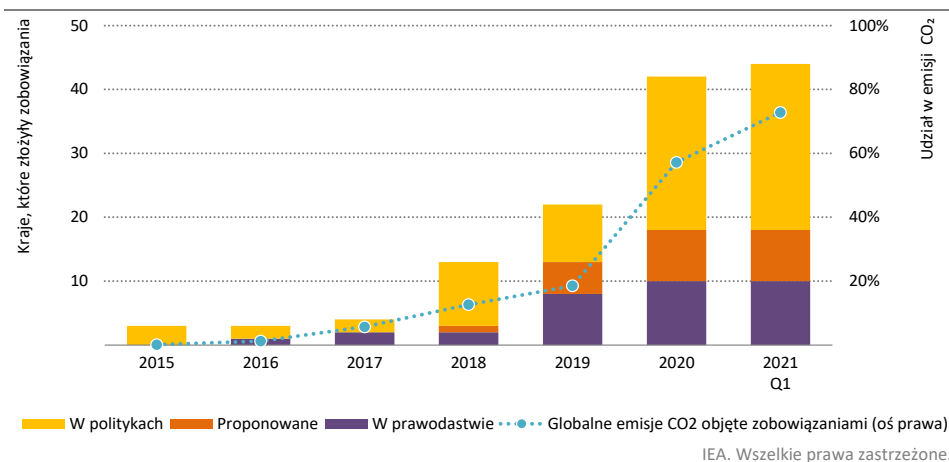
³ Kilka państw poinformowało, że zamierza przedłożyć nowe lub zaktualizowane NDC w 2021 lub 2022 r.

1.2.2 Zobowiązania do osiągnięcia zerowych emisji netto

Odnotowano szybki wzrost liczby rządów, które zobowiązały się do redukcji emisji gazów cieplarnianych netto do poziomu zerowego (Rysunek 1.2). W Porozumieniu paryskim kraje zgodziły się na to, aby „osiągnąć równowagę między antropogenicznymi emisjami gazów cieplarnianych pochodzącymi ze źródeł i usuwaniem przez pochłaniacze w drugiej połowie obecnego wieku”. W *Specjalnym raporcie dotyczącym ograniczenia globalnego ocieplenia klimatu o 1,5 °C*, Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC) podkreślił znaczenie osiągnięcia zerowych emisji CO₂ netto na całym świecie do połowy stulecia lub wcześniej, aby uniknąć najgorszych skutków zmiany klimatu (IPCC, 2018).

Zobowiązania do osiągnięcia zerowych emisji netto zostały ogłoszone przez rządy krajowe, władze lokalne, koalicje ⁴ oraz wiele podmiotów korporacyjnych (zob. sekcja Uwaga). Od 23 kwietnia 2021 roku 44 kraje i Unia Europejska zobowiązały się do osiągnięcia celu, jakim są zerowe emisje netto: w sumie odpowiadają one za około 70% globalnych emisji CO₂ i PKB (Rysunek 1.3). Spośród nich dziesięć krajów uczyniło osiągnięcie zerowych emisji netto obowiązkiem prawnym, osiem proponuje uczynienie go obowiązkiem prawnym, a pozostałe ujęły swoje zobowiązania w oficjalnych dokumentach politycznych.

Rysunek 1.2 ▶ Liczba krajów, które przyjęły zobowiązanie do osiągnięcia zerowych emisji netto oraz ich udział w globalnych emisjach CO₂

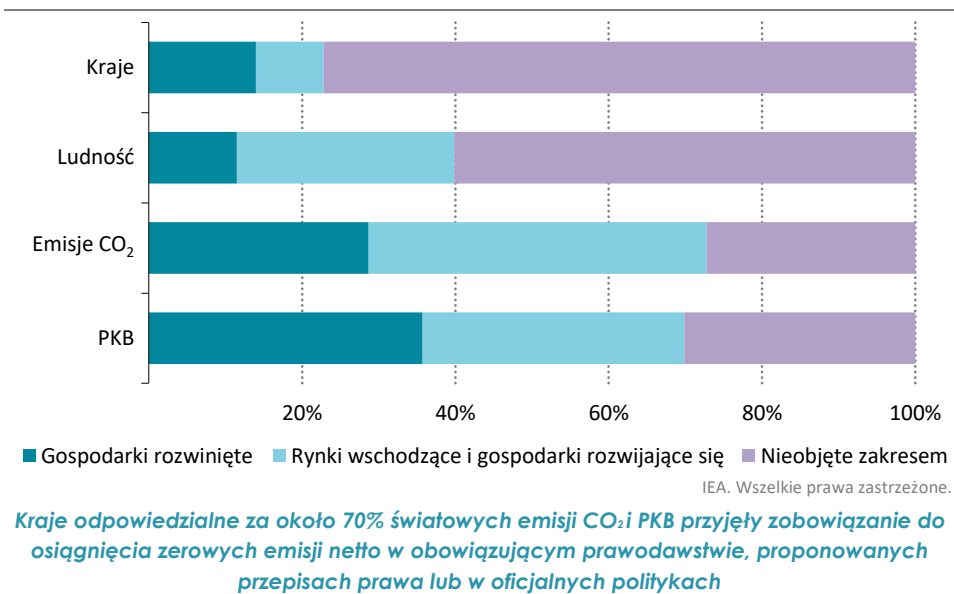


Nastąpiło znaczne przyspieszenie w zakresie liczby zobowiązań do osiągnięcia zerowych emisji netto ogłaszanych przez rządy, a coraz większa ich liczba jest zapisywana w prawodawstwie

Wyjaśnienie: W prawodawstwie = zobowiązanie do osiągnięcia zerowych emisji netto zostało zatwierdzone przez parlament i jest prawnie wiążące. Proponowane = zobowiązanie do osiągnięcia zerowych emisji netto zostało przedłożone w parlamencie do zapisania w prawodawstwie. W politykach = przedstawiono propozycję zobowiązania do osiągnięcia zerowych emisji netto, ale nie ma ono statusu obowiązującego prawa.

⁴ Przykłady: prowadzony przez ONZ sojusz Climate Ambition Alliance, w którym sygnatariusze sygnalizują, że pracują nad osiągnięciem zerowych emisji netto do 2050 r. oraz Koalicja na rzecz Neutralności Węglowej zainicjowana na szczycie klimatycznym ONZ w 2017 r., której sygnatariusze zobowiązują się do opracowania długoterminowych strategii niskich emisji gazów cieplarnianych zgodnie z celem ograniczenia wzrostu temperatury do 1,5 °C.

Rysunek 1.3 ▸ Zakres ogłoszonych zobowiązań krajowych dotyczących zerowych emisji netto



Wyjaśnienie: PKB = produkt krajowy brutto według parytetu siły nabywczej.

W przeciwieństwie do niektórych zobowiązań krótkoterminowych ujętych w NDC, niewiele zobowiązań dotyczących zerowych emisji netto jest popartych szczegółowymi politykami i konkretnymi ścieżkami realizacji. Zobowiązania do osiągnięcia zerowych emisji netto również różnią się znacznie pod względem ram czasowych i zakresu. Niektóre kluczowe różnice to:

- **Zakres objętych gazów cieplarnianych.** Większość zobowiązań obejmuje wszystkie emisje gazów cieplarnianych, ale niektóre zawierają wyłączenia lub różne zasady dla niektórych rodzajów emisji. Na przykład, zobowiązanie Nowej Zelandii do osiągnięcia zerowych emisji netto obejmuje wszystkie gazy cieplarniane z wyjątkiem biogenego metanu, który ma oddzielny cel dotyczący redukcji.
- **Granice sektorowe.** Niektóre zobowiązania nie uwzględniają emisji z określonych sektorów lub rodzajów działalności. Na przykład Holandia dąży do osiągnięcia zerowych emisji gazów cieplarnianych netto tylko w sektorze energii elektrycznej (w ramach ogólnego celu ograniczenia całkowitych emisji gazów cieplarnianych o 95%), a niektóre kraje, w tym Francja, Portugalia i Szwecja, wyłączają międzynarodowe lotnictwo i transport morski.
- **Stosowanie systemów usuwania dwutlenku węgla (CDR).** W zobowiązaniach przyjmuje się różne podejścia do uwzględniania systemów CDR na terytorium danego państwa. Warianty systemów CDR obejmują naturalne pochłaniacze CO₂, takie jak lasy i gleby, a

także rozwiązania technologiczne, takie jak bezpośrednie wychwytywanie dwutlenku węgla z powietrza lub bioenergia z wychwytywaniem i magazynowaniem węgla. Na przykład Urugwaj stwierdził, że naturalne pochłaniacze CO₂ zostaną wykorzystane, aby pomóc mu w osiągnięciu zerowych emisji netto, natomiast Szwajcaria planuje wykorzystać technologie CDR do skompensowania części swoich pozostałych emisji w 2050 r.

- **Wykorzystanie międzynarodowych transferów kredytów węglowych.** W niektórych zobowiązaniach umożliwia się zaliczenie do celu, jakim jest osiągnięcie zerowych emisji netto, redukcji emisji gazów cieplarnianych, które mają miejsce poza granicami danego kraju, np. poprzez transfer kredytów węglowych, podczas gdy w innych nie ma to miejsca. Na przykład Norwegia dopuszcza potencjalne wykorzystanie transferów międzynarodowych, podczas gdy Francja wyraźnie je wyklucza. Niektóre kraje, takie jak Szwecja, zezwalają na takie transfery, ale określają górny limit ich wykorzystania.
- **Ramy czasowe.** Większość zobowiązań, obejmująca 35% globalnych emisji CO₂ w 2020 r., zakłada zerowe emisje netto do 2050 r., jednak Finlandia zamierza osiągnąć ten cel do 2035 r., Austria i Islandia do 2040 r., a Szwecja do 2045 r. Między innymi Chińska Republika Ludowa (dalej Chiny) i Ukraina wyznaczyły datę docelową po 2050 roku.

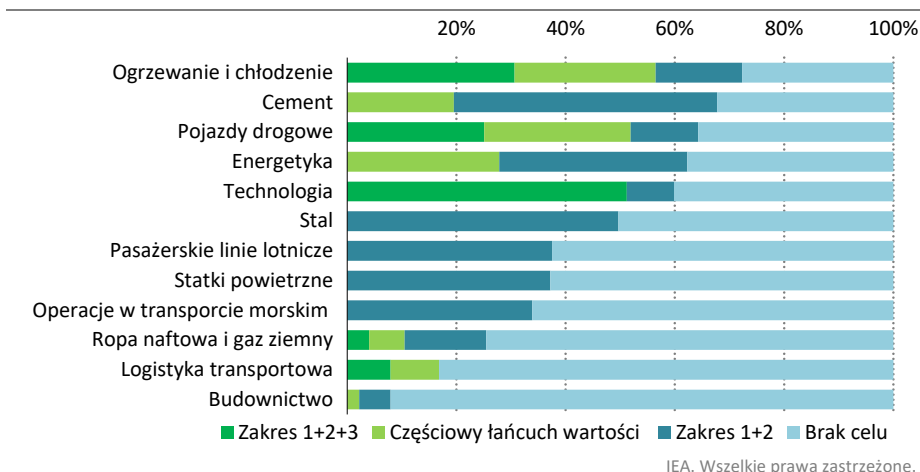
U W A G A

Jak przedsiębiorstwa reagują na potrzebę osiągnięcia zerowych emisji netto?

W ostatnich latach liczba przedsiębiorstw, które ogłosiły plany dotyczące osiągnięcia zerowych emisji netto gwałtownie wzrosła: od lutego 2021 r. około 110 przedsiębiorstw, które bezpośrednio zużywają duże ilości energii lub produkują towary energochłonne, ogłosiło cele lub założenia dotyczące zerowych emisji netto.

Przedsiębiorstwa, które ogłosiły cele dotyczące osiągnięcia zerowych emisji netto odpowiadają za o koło 60-70% światowej produkcji urządzeń grzewczych i chłodniczych, pojazdów drogowych, energii elektrycznej i cementu (Rysunek 1.4). Ponadto blisko 60% przychodów brutto w sektorze technologicznym generują firmy, które stawiają sobie za cel osiągnięcie zerowych emisji netto. W innych sektorach zobowiązania do osiągnięcia zerowych emisji netto obejmują 30-40 % operacji w sektorze lotnictwa i transportu morskiego, 15% w sektorze logistyki transportu i 10% w sektorze budownictwa. Wartości te będą prawdopodobnie rosły w miarę jak kolejne firmy będą przyjmowały tego typu zobowiązania.

Rysunek 1.4 ► Działalność sektorowa dużych przedsiębiorstw charakteryzujących się wysokim zużyciem energii, które ogłosiły zobowiązanie do osiągnięcia zerowych emisji netto do 2050 r



Niektóre sektory są bardziej zaawansowane pod względem zakresu celów dotyczących zerowych emisji netto przyjętych przez przedsiębiorstwa działające w danym sektorze

Wyjaśnienie: Zakres 1 = bezpośrednie emisje ze źródeł energii i innych źródeł posiadanych lub kontrolowanych. Zakres 2 = emisje pośrednie z produkcji energii elektrycznej i ciepłej oraz zakupionych i zużytych paliw. Zakres 3 = emisje pośrednie ze źródeł nie będących własnością firmy lub nie kontrolowanych bezpośrednio, ale związanych z jej działalnością (np. przejazdy pracowników, wydobywanie, transport i produkcja zakupionych materiałów i paliw oraz końcowe wykorzystanie paliw, produktów i usług). Częściowy łańcuch wartości obejmuje emisje z Zakresów 1 i 2 oraz emisje z Zakresu 3 w określonych lokalizacjach geograficznych lub odcinkach łańcucha wartości przedsiębiorstwa.

Źródło: Analiza IEA oparta na raportach największych 10-25 firm w każdym sektorze.

Zobowiązania przedsiębiorstw mogą być trudne do porównania. Większość firm rozlicza emisje i ustala zobowiązania do osiągnięcia zerowych emisji netto w oparciu o Protokół dot. gazów cieplarnianych (WRI, WBCSD, 2004), jednak zakres i ramy czasowe tych zobowiązań są bardzo zróżnicowane. Niektóre z nich, np. FedEx, ArcelorMittal i Maersk, ujmują wyłącznie własne emisje, np. przechodząc na korzystanie z bezemisyjnej energii elektrycznej w biurach i zakładach produkcyjnych oraz eliminując wykorzystanie ropy naftowej w transporcie lub działalności przemysłowej. Inne, jak np. Renault w Europie, obejmują również szersze emisje z niektórych części ich łańcucha wartości lub wszystkie pośrednie emisje związane z ich działalnością, jak ma to miejsce w przypadku firm Daikin, Toyota, Shell, Eni i Heidelberg. W około 60% zobowiązań za cel przyjęto osiągnięcie zerowego poziomu emisji netto do 2050 r., ale kilka firm wyznaczyło wcześniejszy termin: 2030 lub 2040 r.

Okolo 40% przedsiębiorstw, które ogłosiły zobowiązanie do osiągnięcia zerowych emisji netto nie określiło jeszcze sposobu, w jaki zamierza je zrealizować. W przypadku tych, którzy mają szczegółowe plany, główne warianty obejmują bezpośrednią redukcję emisji, wykorzystanie technologii usuwania CO₂ takich jak zalesianie, bioenergia z wychwytywaniem, wykorzystaniem i składowaniem dwutlenku węgla (CCUS) lub bezpośrednie wychwytywanie z powietrza z magazynowaniem CO₂ oraz zakup emisji (kredyty generowane poprzez redukcję emisji, która ma miejsce gdzie indziej). Stosowanie kompensacji emisji może być opłacalnym mechanizmem eliminacji emisji z tych części łańcuchów wartości, w których redukcja emisji jest najtrudniejsza, pod warunkiem że systemy generowania kredytów węglowych będą skutkowały trwałym, dodatkowym i zweryfikowanym zmniejszeniem emisji. Prawdopodobnie jednak podaż kredytów węglowych zgodnych z zasadą zerowych emisji netto na świecie będzie ograniczona, a wykorzystanie takich kredytów mogłoby spowodować rezygnację z inwestycji w działania umożliwiające bezpośrednie ograniczenie emisji.

1.3 Perspektywy emisji i energii w scenariuszu STEPS

Scenariusz Ogłoszonych Polityk (STEPS) przyjęty przez IEA przedstawia konsekwencje istniejących i ogłoszonych polityk dla sektora energii. Opiera się on na najnowszych informacjach dotyczących krajowych planów energetycznych i klimatycznych oraz polityk, które stanowią ich podstawę. Uwzględnia on wszystkie polityki, które są poparte solidnymi przepisami wykonawczymi lub środkami regulacyjnymi, w tym NDC, które państwa przedstawiły w ramach Porozumienia paryskiego do września 2020 r., jak również elementy dotyczące energii ogłoszonych pakietów na rzecz pobudzenia gospodarki i poprawy sytuacji gospodarczej. Jak dotąd niewiele zobowiązań do osiągnięcia zerowych emisji netto zostało popartych szczegółowymi politykami, planami wdrożenia lub celami pośrednimi: większość zobowiązań do osiągnięcia zerowych emisji netto nie została zatem uwzględniona w scenariuszu STEPS.

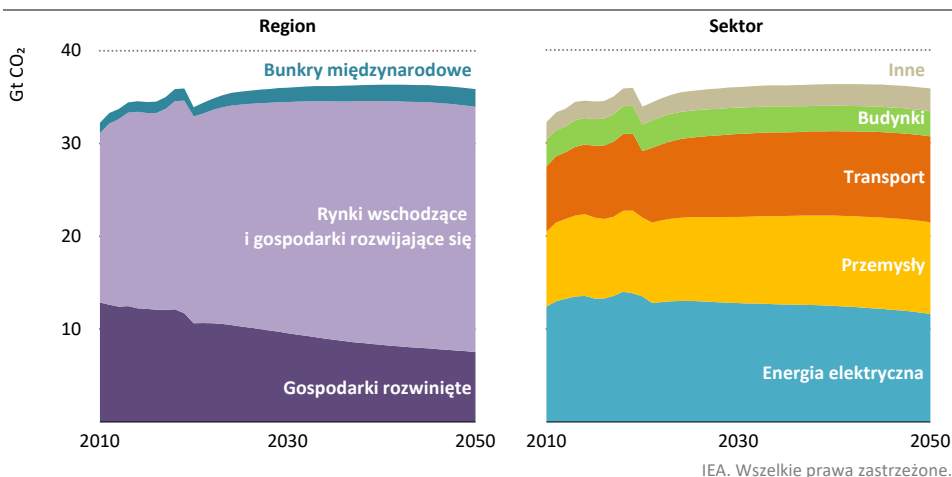
1.3.1 Emisje CO₂

W scenariuszu STEPS występuje jedynie marginalna ogólna poprawa w zakresie globalnych emisji CO₂ w stosunku do aktualnych trendów. Przejście na odnawialne źródła energii prowadzi do wczesnego osiągnięcia szczytowego poziomu emisji w sektorze energii elektrycznej, ale poziom redukcji we wszystkich sektorach jest daleki od wymaganego do osiągnięcia zerowego poziomu emisji netto w 2050 r. W rocznych emisjach CO₂ następuje szybkie odbicie w stosunku do niskiego poziomu, jaki wystąpił z powodu pandemii COVID-19 w 2020 r.: wzrastają one z 34 Gt w 2020 r. do 36 Gt w 2030 r., a następnie utrzymują się na tym poziomie do 2050 r. (Rysunek 1.5). Jeżeli ten trend w zakresie emisji utrzyma się po 2050 r. i przy proporcjonalnych zmianach w innych źródłach emisji gazów cieplarnianych, średni wzrost temperatury na powierzchni ziemi w skali światowej wyniesie około 2,7 °C w 2100 r. (z 50% prawdopodobieństwem).

Istnieją znaczne rozbieżności między prognozami dotyczącymi emisji w gospodarkach rozwiniętych z jednej strony, a rynkami wschodzącymi i gospodarkami rozwijającymi się z

drugiej. W gospodarkach rozwiniętych, pomimo niewielkiego wzrostu na początku 2020 r., emisje CO₂ spadną o około jedną trzecią w latach 2020-2050, dzięki wpływowi polityk i postępu technologicznego w zakresie zmniejszania zapotrzebowania na energię i przechodzenia na czystsze paliwa. Na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się popyt na energię nadal będzie silnie wzrastać ze względu na wzrost liczby ludności, szybki wzrost gospodarczy, urbanizację i rozbudowę infrastruktury: efekty te przeważają nad poprawą efektywności energetycznej i wdrożeniem czystych technologii, powodując wzrost emisji CO₂ o prawie 20% do połowy lat 2040., a następnie nieznaczny spadek do 2050 r.

Rysunek 1.5 ▶ Emisje CO₂ związane z energią i procesami przemysłowymi według regionów i sektorów w scenariuszu STEPS



Globalne emisje CO₂ po 2020 r. szybko wzrosną a następnie osiągną stały poziom, przy czym spadki w gospodarkach rozwiniętych zostaną zrównoważone przez wzrosty w innych krajach

Wyjaśnienie: Inne = rolnictwo i zużycie na potrzeby własne w sektorze energii.

1.3.2 Całkowita podaż energii, całkowite końcowe zużycie energii i wytwarzanie energii elektrycznej

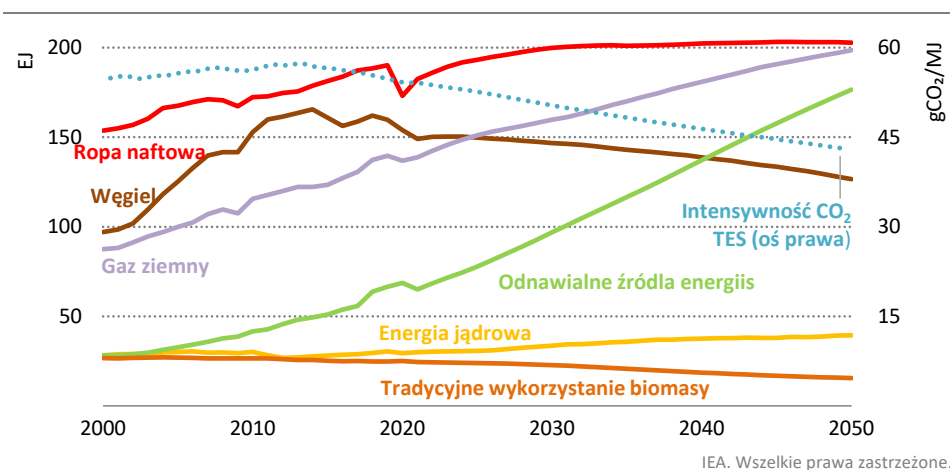
Prognozowane w scenariuszu STEPS trendy dotyczące emisji CO₂ wynikają ze zmian w ilości zużywanej energii oraz w strukturze paliw i technologii. W scenariuszu STEPS, całkowita podaż energii (TES)⁵ na świecie w latach 2020-2050 wzrośnie o nieco ponad 30% (Rysunek 1.6). Bez prognozowanego średniego rocznego zmniejszenia energochłonności o 2,2 %, tj. zużycia energii na jednostkę PKB, TES w 2050 r. byłaby wyższa o około 85%. W gospodarkach rozwiniętych do 2050 r. zużycie energii spadnie o około 5%, pomimo wzrostu gospodarczego w tym okresie o

⁵ Termin „całkowita podaż energii pierwotnej” (lub „całkowite zapotrzebowanie na energię pierwotną”) został zastąpiony terminem „całkowita podaż energii” zgodnie z Międzynarodowymi zaleceniami dotyczącymi statystyki w obszarze energii (IEA, 2020d).

75%. Na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się zużycie energii wzrośnie do 2050 r. o 50%, odzwierciedlając trzykrotny wzrost produkcji w gospodarce w latach 2020-2050. Pomimo wzrostu PKB i zużycia energii na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się, w 2050 r. 750 mln osób nadal nie będzie mieć dostępu do energii elektrycznej, z czego ponad 95% znajdować się będzie w Afryce Subsaharyjskiej, a 1,5 mld osób nadal korzystać będzie w tradycyjny sposób z bioenergii do gotowania.

W latach 2020-2050 nastąpią znaczne zmiany w globalnym miksie paliw. Zużycie węgla, które osiągnęło najwyższy poziom w 2014 r., spadnie o około 15%. Po gwałtownym spadku w 2020 roku spowodowanym pandemią, nastąpi szybki wzrost popytu na ropę naftową, powracając do 2023 r. do poziomu z 2019 roku, czyli 98 mln baryłek dziennie (mb/d) i osiągając stały poziom około 104 mb/d wkrótce po 2030 roku. Zapotrzebowanie na gaz ziemny wzrośnie z 3 900 mld metrów sześciennych (bcm) w 2020 r. do 4 600 bcm w 2030 r. i 5 700 bcm w 2050 r. Podaż energii jądrowej wzrośnie o 15% w latach 2020-2030, głównie dzięki wzrostowi w Chinach.

Rysunek 1.6 ▸ Całkowita podaż energii i intensywność emisji CO₂ w scenariuszu STEPS

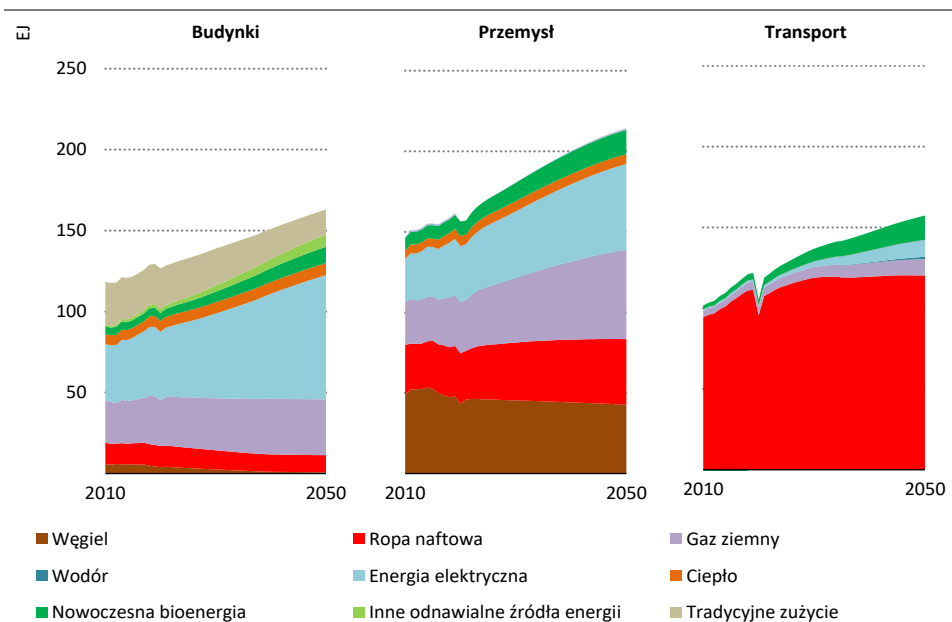


Do 2050 r. zmniejszy się zużycie węgla, zużycie ropy naftowej utrzyma się na stałym poziomie, a zużycie odnawialnych źródeł energii i gazu ziemnego znacznie wzrośnie

Wyjaśnienie: EJ = eksadżul; MJ = megadżul; TES = całkowita podaż energii.

Całkowite zużycie końcowe wzrasta w scenariuszu STEPS we wszystkich sektorach, z przewagą energii elektrycznej i gazu ziemnego (Rysunek 1.7). Cały wzrost będzie mieć miejsce na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się. Największe zmiany w zużyciu energii wystąpią w sektorze elektroenergetycznym (Rysunek 1.8). Globalne zapotrzebowanie na energię elektryczną wzrośnie w latach 2020-2050 o 80%, co oznacza około dwukrotnie większe tempo niż w przypadku ogólnego wzrostu końcowego zużycia energii. Ponad 85% wzrostu światowego zapotrzebowania na energię elektryczną wystąpi na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się. Węgiel będzie nadal odgrywać ważną rolę w wytwarzaniu energii elektrycznej w tych gospodarkach do 2050 r., pomimo silnego wzrostu udziału odnawialnych źródeł energii: w gospodarkach rozwiniętych wykorzystanie węgla do wytwarzania energii elektrycznej gwałtownie spadnie.

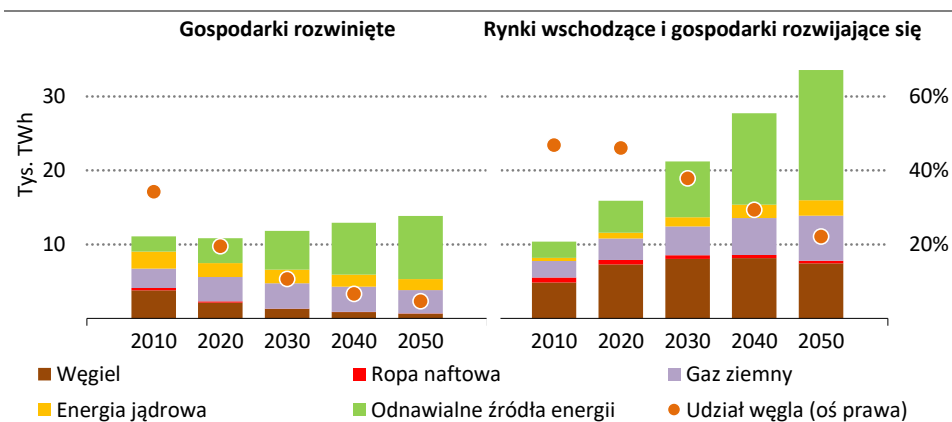
Rysunek 1.7 ▶ Całkowite zużycie końcowe według sektorów i paliw w scenariuszu STEPS



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

W latach 2020-2050 końcowe zużycie energii wzrośnie średnio o 1% rocznie, przy czym większość tego wzrostu przypada na energię elektryczną i gaz ziemny

Rysunek 1.8 ▶ Produkcja energii elektrycznej według paliw i udział węgla w scenariuszu STEPS



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Rynki wschodzące i gospodarki rozwijające się odpowiadają za większość wzrostu globalnego zapotrzebowania na energię elektryczną, zaspokajanego głównie przez odnawialne źródła energii i gaz, choć węgiel nadal odgrywają ważną rolę

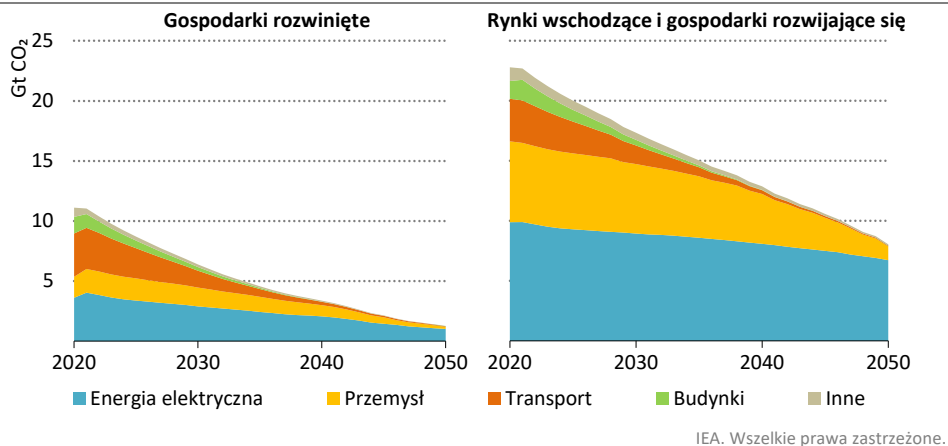
1.3.3 Emisje z istniejących obiektów

Sektor energii obejmuje dużą liczbę obiektów o długim okresie użytkowania i o wysokiej kapitałochłonności. Infrastruktura miejska, rurociągi, rafinerie, elektrownie węglowe, zakłady przemysłu ciężkiego, budynki i duże elektrownie wodne mogą mieć okresy eksploatacji technicznej i ekonomicznej znacznie przekraczające 50 lat. Szacujemy, że gdyby dzisiejsza infrastruktura energetyczna miała być eksploatowana do końca typowego okresu użytkowania w sposób podobny do tego, jaki stosowano w przeszłości, doprowadziłoby to do skumulowanych emisji CO₂ związanych z energią i procesami przemysłowymi w latach 2020-2050 w wysokości nieco poniżej 650 Gt CO₂. Jest to o około 30% więcej niż pozostała całkowita ilość CO₂ pozwalająca na ograniczenie globalnego ocieplenia do 1,5 °C z 50 % prawdopodobieństwem (zob. Rozdział 2).

Sektor energii elektrycznej odpowiada za ponad 50% całkowitych emisji, które pochodziłyby z istniejących obiektów; 40% całkowitych emisji pochodziłoby z samych elektrowni węglowych. Kolejnym co do wielkości sektorem jest przemysł, przy czym przemysł stalowy, cementowy, chemiczny i inny odpowiada za około 30% całkowitych emisji z istniejących obiektów. Duży udział tych podsektorów wyjaśnia długi okres eksploatacji wykorzystywanych w nich urządzeń produkcyjnych (zazwyczaj 30-40 lat dla wielkiego pieca lub pieca cementowego) i stosunkowo młody wiek globalnych środków trwałych. Transport odpowiada za nieco ponad 10% emisji z istniejących obiektów, a sektor budynków za nieco poniżej 5%. Okres eksploatacji pojazdów i urządzeń w sektorach transportu i budynków jest zasadniczo znacznie krótszy niż w przypadku energii elektrycznej i przemysłu – na przykład w przypadku samochodów osobowych zasadniczo przyjmuje się, że okres eksploatacji wynosi około 17 lat – ale sieci infrastruktury towarzyszącej, takie jak drogi, sieci elektryczne i sieci gazowe mają bardzo długi okres eksploatacji.

Istnieją duże różnice regionalne w poziomach emisji z istniejących obiektów (rysunek 1.9). Gospodarki rozwinięte mają zwykle znacznie starsze środki trwałe niż rynki wschodzące i gospodarki rozwijające się, szczególnie w sektorze energii elektrycznej, a istniejące obiekty wcześniej osiągną koniec swojego okresu eksploatacji. Na przykład średni wiek elektrowni węglowych w Chinach wynosi 13 lat, a w pozostałych częściach Azji – 16 lat, w porównaniu z około 35 latami w Europie i 40 latami w Stanach Zjednoczonych (IEA, 2020e).

Rysunek 1.9 ► Emisja z istniejącej infrastruktury według sektorów i regionów



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Rynki wschodzące i gospodarki rozwijające się będą odpowiadać za trzy czwarte skumulowanych emisji z istniejącej infrastruktury do roku 2050

1.4 Analiza Ogłoszonych Zobowiązań

W analizie Casusu Ogłoszonych Zobowiązań (ang. Announced Pledges Case, APC) zakłada się, że wszystkie krajowe zobowiązania do osiągnięcia zerowych emisji netto zostaną zrealizowane w całości i w terminie. Przypadek ten wykracza zatem poza zobowiązania określone w politykach zawarte w scenariuszu STEPS. Celem APC jest sprawdzenie, jak daleko pełna realizacja krajowych zobowiązań do osiągnięcia zerowych emisji netto doprowadziłaby świat ku temu celowi oraz zbadanie skali transformacji sektora energii, której wymagałaby taka ścieżka.

Zakładany sposób realizacji tych zobowiązań w ramach APC ma istotne implikacje dla systemu energii. Zobowiązanie do osiągnięcia zerowego poziomu wszystkich emisji gazów cieplarnianych netto nie musi oznaczać, że emisje CO₂ w sektorze energii muszą osiągnąć poziom zerowy netto. Na przykład krajowe plany osiągnięcia zerowych emisji netto mogą przewidywać, że niektóre pozostałe emisje związane z energetyką będą równoważone przez pochłanianie emisji przez leśnictwo lub użytkowanie gruntów, lub przez ujemne emisje wynikające z wykorzystania bioenergii lub bezpośredniego wychwytywania CO₂ z powietrza (DAC) za pomocą systemów CCUS.⁶ Nie wiadomo dokładnie w jaki sposób zobowiązania do osiągnięcia zerowego poziomu emisji netto będą wdrażane, ale analiza APC, w szczególności w odniesieniu do szczegółów ścieżki dla systemu energii, została opracowana na podstawie ścieżek mających na celu wsparcie zobowiązań do osiągnięcia zerowego poziomu emisji netto, przygotowanych przez szereg organów krajowych (Ramka 1.1). Zakłada się, że w

⁶ Na przykład w najnowszych ogólnogospodarczych ścieżkach łagodzenia skutków zerowych emisji netto dla Unii Europejskiej, w 2050 r. pozostaje około 140-210 mln ton CO₂ emisji z sektora energii, które są kompensowane przez CDR z zarządzanych pochłaniaczy związanych z użytkowaniem gruntów, a także bioenergię i DAC z systemami CCUS (Komisja Europejska, 2018).

krajach, które jeszcze nie zobowiązały się do osiągnięcia zerowych emisji netto, przyjęte polityki będą takie same jak w scenariuszu STEPS. Założenia niezwiązane z polityką, w tym dotyczące liczby ludności i wzrostu gospodarczego, są takie same jak w scenariuszu STEPS.

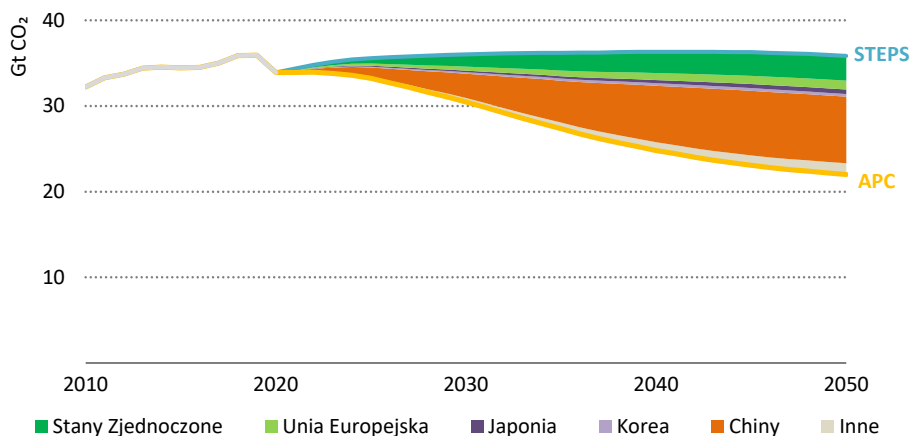
Ramka 1.1 ► Konsultacje z organami krajowymi w sprawie osiągnięcia krajowych celów dotyczących osiągnięcia zerowych emisji netto

Aby pomóc w pracach nad opracowaniem ścieżek ku zerowym emisjom netto, IEA przeprowadziła szerokie konsultacje z ekspertami ze środowisk akademickich i organów krajowych, które opracowały ścieżki mające na celu wsparcie rządów w realizacji ich zobowiązań do osiągnięcia zerowych emisji netto. Obejmuje to grupy, które opracowały ścieżki zerowych emisji netto dla kilku krajów, w tym Chin, Unii Europejskiej, Japonii, Wielkiej Brytanii i Stanów Zjednoczonych, a także IPCC. Ścieżki te nie zostały wykorzystane bezpośrednio jako źródło danych wejściowych dla APC, ale przeprowadzone dyskusje umożliwiły nam modelowanie krajowych preferencji i ograniczeń w ramach każdej jurysdykcji oraz umożliwiły określenie ogólnego poziomu redukcji emisji CO₂ związanych z energią, który jest proporcjonalny do ogólnogospodarczych celów w zakresie osiągnięcia zerowych emisji netto.

1.4.1 Emisje CO₂

W APC przewiduje się niewielki wzrost emisji do 2023 r., choć jest on znacznie mniejszy niż wzrost, który nastąpił bezpośrednio po kryzysie finansowym w latach 2008-2009. Emisje nigdy nie osiągną ówczesnej wartości szczytowej wynoszącej 36 Gt CO₂. Globalne emisje CO₂ spadną o około 10% do 30 Gt w 2030 r. i do 22 Gt w 2050 r. Jest to poziom niższy o około 35% niż w 2020 r. i o 14 Gt CO₂ mniej niż przewidziano w scenariuszu STEPS (Rysunek 1.10). Jeżeli ten trend w zakresie emisji utrzyma się po 2050 r., przy podobnych zmianach w emisjach gazów cieplarnianych niezwiązanych z energetyką, globalny wzrost średniej temperatury przy powierzchni w 2100 r. wyniesie około 2,1 °C (z prawdopodobieństwem 50%).

Rysunek 1.10 ► Globalne emisje CO₂ związane z energią i procesami przemysłowymi według scenariusza i redukcja według regionów, lata 2010-2050



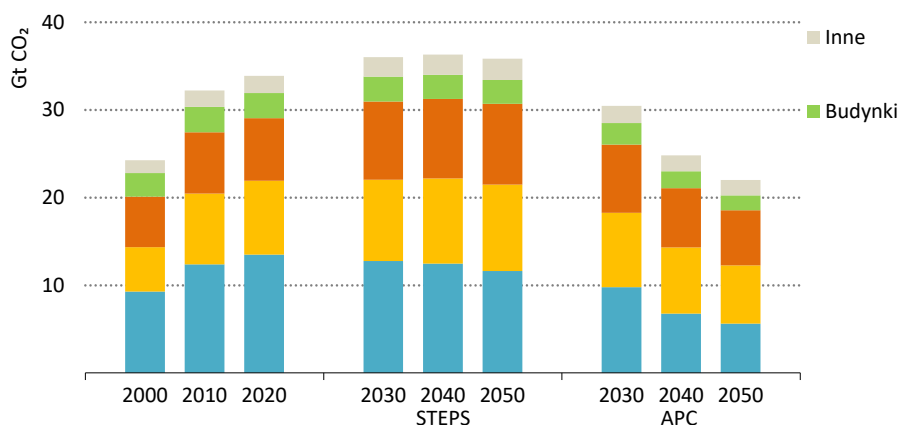
IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Realizacja istniejących zobowiązań do osiągnięcia zerowego poziomu emisji netto ograniczyłaby emisję w skali globalnej do 22 Gt CO₂ w 2050 r., co stanowiłoby znaczną redukcję w porównaniu z obecną polityką, ale nadal byłoby dalekie od zerowego poziomu emisji netto

Dotychczasowe zobowiązania do osiągnięcia zerowych emisji netto stanowią zatem istotną różnicę w stosunku do obecnego trendu w zakresie emisji CO₂. Jednak obecne zobowiązania do osiągnięcia zerowych emisji netto znacznie odbiegają od tego, co jest niezbędne do osiągnięcia globalnej zerowej emisji netto do 2050 r. Zwiększa to znaczenie konkretnych polityk i planów dla pełnej realizacji długoterminowych zobowiązań dotyczących zerowych emisji netto. Zwiększa to również znaczenie przyjęcia (i realizacji) przez inne kraje zobowiązań do osiągnięcia zerowego poziomu emisji netto: im więcej krajów to uczyni i im bardziej ambitne będą te zobowiązania, tym bardziej zmniejszy się różnica w stosunku do tego, co jest konieczne do osiągnięcia zerowego poziomu emisji netto do 2050 r.

Największy spadek emisji CO₂ w ramach APC dotyczy sektora energii elektrycznej, w którym w latach 2020-2050 globalne emisje spadną o prawie 60%. Ma to miejsce pomimo niemal dwukrotnego wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną w miarę postępującej elektryfikacji końcowych odbiorów energii, zwłaszcza w transporcie i budynkach (Rysunek 1.11). Dla porównania, w scenariuszu STEPS spadek emisji wynosi mniej niż 15%.

Rysunek 1.11 ► Globalne emisje CO₂ według sektorów w STEPS i APC



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Ogłoszone zobowiązania do osiągnięcia zerowego poziomu emisji netto zmniejszyłyby emisje w 2050 r. o 60% w sektorze energii elektrycznej, o 40% w budynkach, o 25% w przemyśle i o nieco ponad 10% w transporcie

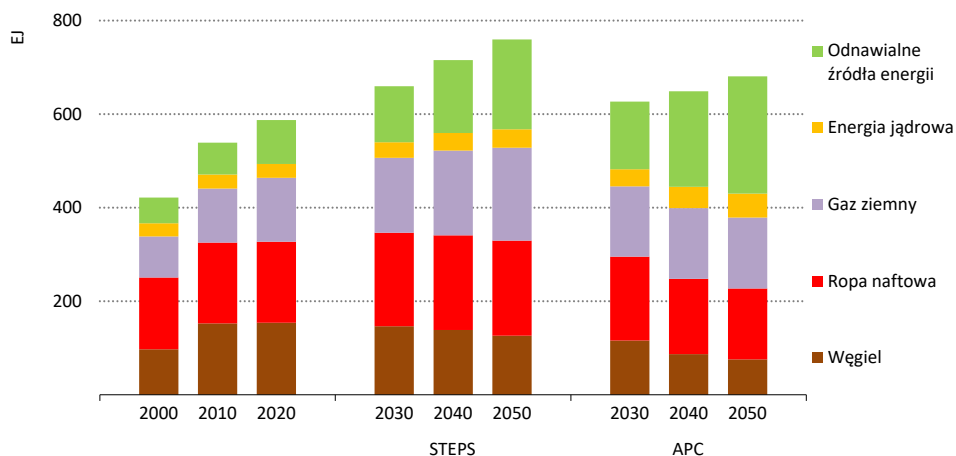
W sektorach transportu i przemysłu obserwuje się mniej wyraźny spadek emisji CO₂ do 2050 r. w przypadku APC, przy czym wzrost zapotrzebowania na energię w regionach, w których nie przyjęto zobowiązań do osiągnięcia zerowych emisji netto, częściowo równoważy wysiłki na rzecz ograniczenia emisji w innych regionach. W latach 2020-2050 emisje z sektora budynków spadną o około 40%, w porównaniu do około 5% w scenariuszu STEPS: paliwa kopalne będą wykorzystywane głównie na cele ogrzewania, a kraje, które przyjęły zobowiązania, mają stosunkowo duży udział w globalnym zapotrzebowaniu na ciepło.

Nawet w regionach, w których przyjęto zobowiązania do osiągnięcia zerowych emisji netto, w 2050 r. wystąpią pewne emisje resztkowe, głównie w przemyśle i transporcie. Odzwierciedla to niedostatek dostępnych na rynku możliwości wyeliminowania wszystkich emisji samochodów ciężarowych o dużej ładowności, lotnictwa, transportu morskiego i przemysłu ciężkiego.

1.4.2 Całkowita podaż energii

Globalna całkowita podaż energii w latach 2020-2050 wzrośnie o ponad 15% w przypadku scenariusza APC, natomiast w scenariuszu STEPS wzrośnie o jedną trzecią (Rysunek 1.12). Energochłonność do 2050 r. będzie spadać średnio o około 2,6% rocznie w porównaniu z 2,2% w scenariuszu STEPS. Wystąpi znaczny wzrost zapotrzebowania na energię na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się, gdzie wzrost gospodarczy i wzrost liczby ludności są najszybsze i gdzie przyjętych zostało mniej zobowiązań do osiągnięcia zerowych emisji netto, co przewyższy redukcję zapotrzebowania na energię w krajach, które zobowiązały się do osiągnięcia zerowego poziomu emisji netto.

Rysunek 1.12 ▶ Całkowita podaż energii według źródeł w STEPS i APC



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Ogłoszone zobowiązania do osiągnięcia zerowych emisji netto podniosą udział odnawialnych źródeł energii w APC z 12% całkowitej podaży energii w 2020 r. Do 35% w 2050 r., głównie kosztem węgla i ropy naftowej

Globalnemu wzrostowi podaży energii w scenariuszu APC przewodzą odnawialne źródła energii, których udział w miksie energetycznym wzrośnie z 12% w 2020 r. do 35% w 2050 r. (w porównaniu z 25% w 2050 r. w scenariuszu STEPS). W sektorze energii elektrycznej, fotowoltaika (PV) i wiatr odpowiadają łącznie za około 50% wzrostu podaży energii odnawialnej, a bioenergia – za około 30%. Wykorzystanie bioenergii podwoi się w przemyśle, potroi się w produkcji energii elektrycznej i wzrośnie czterokrotnie w transporcie; odgrywać będzie ona ważną rolę w redukcji emisji związanych z zaopatrzeniem w ciepło i usuwaniem CO₂ z atmosfery w przypadku jej połączenia z systemami CCUS. Energia jądrowa utrzyma swój udział w miksie energetycznym, a jej produkcja wzrośnie do 2030 r. o jedną czwartą (w porównaniu do 15% wzrostu w scenariuszu STEPS), dzięki przedłużeniu okresu eksploatacji istniejących elektrowni i instalacji nowych reaktorów w niektórych krajach.

Globalne zużycie węgla spadnie znacznie szybciej w APC niż w scenariuszu STEPS. Spadnie ona z 5 250 mln ton ekwiwalentu węgla (Mtce) w 2020 r. do 4 000 Mtce w 2030 r. i 2 600 Mtce w 2050 r. (w porównaniu z 4 300 Mtce w scenariuszu STEPS w 2050 r.). Większość tego spadku będzie spowodowana zmniejszeniem produkcji energii elektrycznej z węgla w krajach, które zobowiązały się do osiągnięcia zerowych emisji netto w miarę jak elektrownie będą przekształcane, modernizowane lub wycofywane z użytku. W gospodarkach rozwiniętych elektrownie węglowe bez systemów redukcji emisji zostaną w większości zamknięte w ciągu najbliższych 10-15 lat. Zużycie węgla do produkcji energii elektrycznej w Chinach spadnie w latach 2020-2050 o 85% w ramach działań prowadzących do osiągnięcia neutralności klimatycznej w 2060 r. Spadki te z nadwyżką zrekompensują stały wzrost wykorzystania węgla w krajach, które nie zobowiązały się do osiągnięcia zerowych emisji

netto. W skali globalnej zużycie węgla w przemyśle spadnie o 25% w latach 2020-2050, podczas gdy w scenariuszu STEPS spadek ten wyniesie 5%.

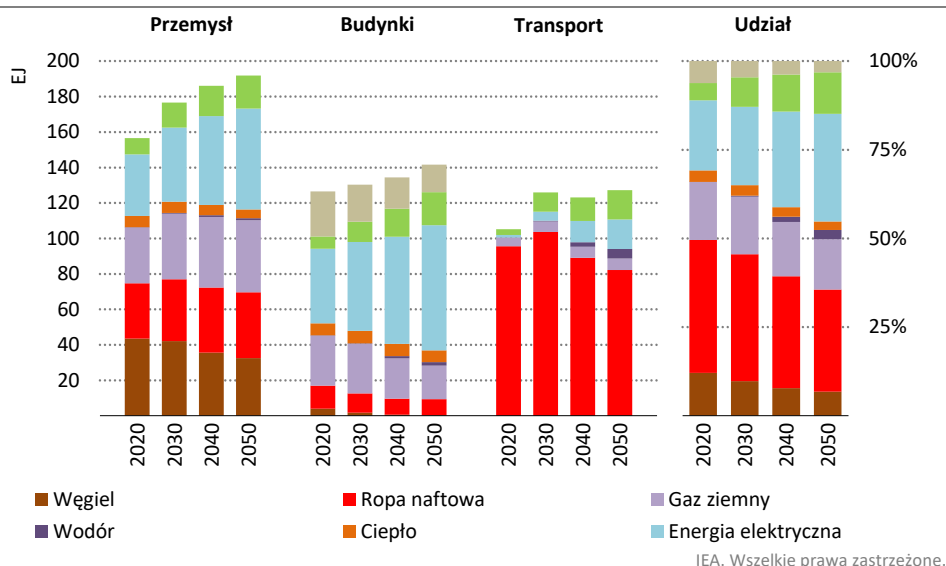
Na początku lat 2020. popyt na ropę naftową nieznacznie zbliży się do wcześniejszych poziomów, ale nigdy już nie osiągnie historycznego szczytu z 2019 r. Zmniejszy się on do 90 mb/d na początku lat 2030. i do 80 mb/d w 2050 r., co jest poziomem o około 25 mb/d mniejszym niż w scenariuszu STEPS, dzięki silnemu naciskowi na elektryfikację transportu oraz przechodzeniu na biopaliwa i wodór, zwłaszcza w regionach, w których przyjęto zobowiązania do osiągnięcia zerowych emisji netto. Zapotrzebowanie na gaz ziemny wzrośnie z ok. 3 900 mld m³ w 2020 r. do ok. 4 350 mld m³ w 2025 r., a następnie zasadniczo nie zmienia się do 2050 r. (podczas gdy w scenariuszu STEPS będzie nadal rósł do ok. 5 700 mld m³).

1.4.3 Całkowite zużycie końcowe

W ramach APC, globalne zużycie energii nadal będzie rosło we wszystkich głównych sektorach końcowego wykorzystania energii, choć znacznie wolniej niż w scenariuszu STEPS (Rysunek 1.13). Całkowite zużycie końcowe (TFC) wzrośnie w latach 2020-2050 o około 20%, w porównaniu z 35% wzrostu w skali globalnej w scenariuszu STEPS. Działania mające na celu poprawę efektywności energetycznej odgrywają w APC główną rolę w ograniczaniu wzrostu popytu w krajach, które zobowiązały się do osiągnięcia zerowych emisji netto. Bez tego wzrostu efektywności wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną znacznie utrudniłby odnawialnym źródłom energii zastąpienie paliw kopalnych w produkcji energii elektrycznej. Największa redukcja zapotrzebowania na energię w stosunku do STEPS dotyczy transportu, dzięki przyspieszonemu przejściu na pojazdy elektryczne (EV), które są około trzykrotnie bardziej energooszczędne niż konwencjonalne pojazdy z silnikami spalinowymi.

W APC zasadniczej zmianie ulega miks paliw w końcowym zużyciu energii. Do 2050 r. energia elektryczna będzie najważniejszym paliwem wykorzystywanym we wszystkich sektorach z wyjątkiem transportu, w którym nadal dominować będzie ropa naftowa. Utrzymanie się ropy naftowej w transporcie wynika częściowo z zakresu jej dalszego stosowania w krajach, które nie zobowiązały się do osiągnięcia zerowych emisji netto, a częściowo z trudności w elektryfikacji znacznych części sektora transportu, zwłaszcza transportu ciężarowego i lotniczego. Energia elektryczna zyska jednak zastosowanie w transporcie, a szybki wzrost rozpowszechnienia pojazdów elektrycznych powoduje spadek zużycia ropy naftowej po 2030 r., przy czym w APC pojazdy elektryczne będą stanowić około 35% światowej sprzedaży samochodów osobowych do 2030 r. i prawie 50% w 2050 r. (w porównaniu z około 25% w 2050 r. w scenariuszu STEPS). Również elektryfikacja w sektorze budynków przebiegać będzie znacznie szybciej w ramach APC niż w scenariuszu STEPS.

Rysunek 1.13 ▸ Całkowite zużycie końcowe w APC



Ogłoszone zobowiązania do osiągnięcia zerowych emisji netto doprowadzą do globalnego odejścia od paliw kopalnych na rzecz energii elektrycznej, odnawialnych źródeł energii i wodoru. Udział energii elektrycznej wzrośnie z 20% do 30% w 2050 roku

Do 2050 r. bezpośrednie wykorzystanie odnawialnych źródeł energii wzrośnie we wszystkich sektorach końcowego wykorzystania energii na świecie. Za większą część tego wzrostu odpowiadać będzie nowoczesna bioenergia, głównie poprzez dodawanie biometanu w sieciach gazu ziemnego i wykorzystanie płynnych biopaliw w transporcie. Będzie to mieć miejsce głównie w regionach, które zobowiązały się do osiągnięcia zerowych emisji netto. Wodór i paliwa oparte na wodorze odgrywać będą większą rolę w APC niż w STEPS, osiągając prawie 15 eksadzuli (EJ) w 2050 r., chociaż nadal stanowiąc będą jedynie 3% całkowitego zużycia końcowego na świecie w 2050 r. W 2050 r. ponad dwie trzecie całkowitego zużycia wodoru przypadają będzie na transport. Jednocześnie produkcja wodoru na miejscu w przemyśle i sektorze rafineryjnym stopniowo będzie przechodzić na technologie niskoemisyjne.

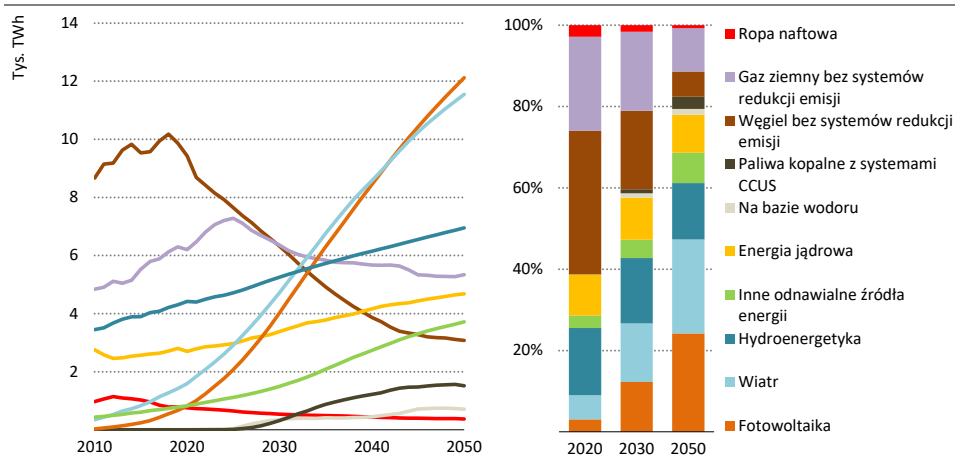
1.4.4 Wytwarzanie energii elektrycznej

W ciągu najbliższych trzech dekad globalna produkcja energii elektrycznej w ramach APC prawie się podwoi, wzrastając z około 26 800 terawatogodzin (TWh) w 2020 r. do ponad 50 000 TWh w 2050 r., czyli o około 4 000 TWh więcej niż w scenariuszu STEPS. Za cały wzrost odpowiadać będą niskoemisyjne źródła energii. Udział źródeł odnawialnych w produkcji energii elektrycznej wzrośnie z 29% w 2020 r. do niemal 70% w 2050 r., w porównaniu z około 55% w scenariuszu STEPS, ponieważ fotowoltaika i energia wiatrowa wyprzedzą wszystkie inne źródła (Rysunek 1.14). Do 2050 r. fotowoltaika i wiatr będą łącznie odpowiadać za

prawie połowę podaży energii elektrycznej. Również hydroenergetyka będzie ciągle rozwijać się i do 2050 r. stanie się trzecim co do wielkości źródłem energii w miksie energii elektrycznej. Dzięki stałemu wzrostowi, również energia jądrowa utrzyma swój udział w rynku światowym na poziomie około 10%, przy czym wzrost ten będzie spowodowany wzrostem w Chinach. Wykorzystanie gazu ziemnego w produkcji energii elektrycznej nieznacznie wzrośnie do połowy 2020 r., po czym zacznie spadać, podczas gdy udział węgla spadnie z około 35% w 2020 r. do poniżej 10% w 2050 r. W tym momencie 20% pozostałej produkcji z elektrowni węglowych pochodzić będzie z elektrowni wyposażonych w systemy CCUS.

Wodór i amoniak zaczną być wykorzystywane jako paliwa do produkcji energii elektrycznej około 2030 r. i będą stosowane głównie w połączeniu z gazem ziemnym w turbinach gazowych oraz z węglem w elektrowniach węglowych. Wydłuży to okres eksploatacji istniejących obiektów, przyczyni się do wystarczalności systemu elektroenergetycznego i zmniejszy ogólne koszty przekształcenia sektora energii elektrycznej w wielu krajach. Znacznie wzrośnie również całkowita pojemność akumulatorów, osiągając w 2050 r. poziom 1 600 gigawatów (GW), czyli o 70% więcej niż w scenariuszu STEPS.

Rysunek 1.14 ► Globalna produkcja energii elektrycznej według źródeł w APC



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

W APC odnawialne źródła energii osiągną nowe szczytowe poziomy, wzrastając z poziomu nieco poniżej 30% podaży energii elektrycznej w 2020 r. do prawie 70% w 2050 r., podczas gdy produkcja energii elektrycznej z węgla będzie stale spadać

Wyjaśnienie: Inne odnawialne źródła energii = energia geotermalna, termiczna energia słoneczna i energia morską.

Globalna ścieżka prowadząca do zerowych emisji CO₂ netto w 2050 r.

P O D S U M O W A N I E

- Scenariusz zerowych emisji netto do 2050 r. (NZE) pokazuje, czego potrzebuje globalny sektor energii, aby osiągnąć zerowe emisje CO₂ netto do 2050 r. Wraz z odpowiednim ograniczeniem emisji gazów cieplarnianych poza sektorem energii, jest to zgodne z ograniczeniem wzrostu temperatury na świecie do 1,5 °C bez przekroczenia temperatury (z 50% prawdopodobieństwem). Osiągnięcie tego celu wymagałoby od wszystkich rządów przyjęcia bardziej ambitnych planów w stosunku do obecnych Wkładów Ustalonych na Poziomie Krajowym oraz zobowiązań do osiągnięcia zerowych emisji netto.
- W ramach scenariusza NZE, globalne emisje CO₂ związane z energią i procesami przemysłowymi spadną w latach 2020-2030 o prawie 40% i do zerowej wartości netto w 2050 r. Do 2030 r. zostanie osiągnięty powszechny dostęp do zrównoważonej energii. Do 2030 r. ma nastąpić 75% redukcji emisji metanu pochodzącego z paliw kopalnych. Zmiany te będą zachodzić w czasie, gdy gospodarka światowa wzrośnie ponad dwukrotnie do roku 2050, a liczba ludności na świecie zwiększy się o 2 miliardy.
- W ramach scenariusza NZE, całkowita podaż energii spadnie w latach 2020-2030 o 7% i utrzyma się na mniej więcej tym poziomie do 2050 r. Do 2030 r. fotowoltaika i wiatr staną się wiodącymi źródłami energii elektrycznej na świecie, a w 2050 r. łącznie będą one dostarczać prawie 70% globalnej produkcji. Tradycyjne wykorzystanie bioenergii zostanie zakończone do 2030 roku.
- Do 2050 r. zapotrzebowanie na węgiel spadnie o 90% do wartości poniżej niż 600 Mtce, zapotrzebowanie na ropę naftową o 75% do 24 mb/d, a zapotrzebowanie na gaz ziemny o 55% do 1750 mld m³. Paliwa kopalne, które w 2050 r. będą ciągle eksploatowane, będą wykorzystywane do produkcji dóbr nieenergetycznych, w przypadku których węgiel stanowi część produktu (np. tworzyw sztucznych), w zakładach wychwytywania, wykorzystania i składowania dwutlenku węgla (CCUS) oraz w sektorach, w których możliwości wdrożenia technologii niskoemisyjnych są ograniczone.
- W ramach scenariusza NZE, efektywność energetyczna, energia wiatrowa i słoneczna będą odpowiadać za około połowę oszczędności emisji do 2030 r. W dalszym ciągu będą one przyczyniać się do ograniczenia emisji po 2030 r., ale w okresie do 2050 r. nastąpi wzrost elektryfikacji, wykorzystania wodoru i wykorzystania CCUS, w przypadku których nie wszystkie technologie są obecnie dostępne na rynku, a które odpowiadać będą za ponad połowę ograniczenia emisji

w latach 2030-2050. W 2050 r. w ramach scenariusza NZE usunięte zostanie 1,9 Gt CO₂ a zapotrzebowanie na niskoemisyjny wodór wyniesie 520 mln ton. Zmiany zachowań obywateli i przedsiębiorstw pozwolą w 2030 r. uniknąć emisji 1,7 Gt CO₂, ograniczą wzrost zapotrzebowania na energię i ułatwią przejście na czystą energię.

- Roczne inwestycje w sektorze energii, które w ostatnich latach wynosiły na całym świecie średnio 2,3 bln USD, w ramach scenariusza NZE wzrosną do 2030 r. do 5 bln USD. Jako udział w globalnym PKB, w ramach scenariusza NZE, średnie roczne inwestycje w energetyce do 2050 r. będą o około 1% wyższe niż w ostatnich latach.
- W scenariuszu NZE zostaną wykorzystane wszystkie możliwości dekarbonizacji sektora energii, w odniesieniu do wszystkich paliw i wszystkich technologii. Droga do roku 2050 jest jednak obciążona wieloma niewiadomymi. W przypadku bardziej ograniczonej zmiany zachowań niż przewidziano w scenariuszu NZE lub mniejszej dostępności zrównoważonej bioenergii, transformacja energetyczna byłaby bardziej kosztowna. Nieopracowanie technologii CCUS dla paliw kopalnych może opóźnić lub uniemożliwić opracowanie CCUS dla emisji technologicznych z produkcji cementu i technologii usuwania dwutlenku węgla, co znacznie utrudni osiągnięcie zerowych emisji netto do 2050 r.

2.1 Wprowadzenie

Dokonanie globalnej transformacji technologicznej, która jest zgodne z celami klimatycznymi świata, jest bez wątpienia trudnym zadaniem. Jak podkreślono w rozdziale 1, obecne zobowiązania rządów do ograniczenia emisji do poziomu zerowego netto obejmują łącznie około 70% dzisiejszej światowej działalności gospodarczej i globalnych emisji CO₂. Casus Ogłoszonych Zobowiązań pokazuje, że gdyby wszystkie te zobowiązania zostały w pełni zrealizowane, zmniejszyłoby to rozbieżność pomiędzy przyjętymi celami a stanem, jaki musimy osiągnąć, aby zapewnić zerowy poziom emisji netto do 2050 r. na całym świecie. Pokazuje on jednak również, że rozbieżność ta pozostaje duża. Pomimo dotrzymania wszystkich obecnych zobowiązań w zakresie osiągnięcia zerowych emisji netto, w 2050 r. na świecie nadal emitowanoby 22 gigatony (Gt) emisji CO₂ związanych z energią i procesami przemysłowymi, co prowadziłoby do wzrostu temperatury w 2100 r. o około 2,1 °C (z 50% prawdopodobieństwem).

W tym rozdziale analizujemy transformację sektora energii przewidzianą w naszym scenariuszu zerowych emisji netto (NZE) do roku 2050. Rozdział rozpoczyna się od omówienia kluczowych założeń i dynamiki rynku stanowiących podstawę przeprowadzonych prognoz, w tym prognozowane ceny paliw kopalnych i CO₂. Omówiono też tendencje w zakresie globalnych emisji CO₂, zużycia energii i inwestycji, w tym kluczową rolę, jaką odgrywają działania w zakresie efektywności energetycznej, zmian behawioralnych, elektryfikacji, odnawialnych źródeł energii, wodoru i paliw wodorowych, bioenergii oraz wychwytywania, wykorzystywania i składowania dwutlenku węgla (CCUS). W rozdziale omówiono też niektóre kluczowe niewiadome dotyczące globalnej ścieżki prowadzącej do zerowych emisji netto,

związane ze zmianami zachowań, dostępnością zrównoważonej bioenergii oraz wdrożeniem technologii CCUS w odniesieniu do paliw kopalnych. Transformacja poszczególnych sektorów energii została oceniona i szczegółowo omówiona w rozdziale 3.

2.2 Konstrukcja scenariusza

Scenariusz zerowych emisji netto do 2050 r. (NZE) ma na celu pokazanie, czego i kiedy wymagają różne podmioty w najważniejszych sektorach, aby do 2050 r. świat osiągnął zerowe emisje CO₂ netto związane z energią i procesami przemysłowymi.¹ Ma on również na celu zminimalizowanie emisji metanu z sektora energii. W ostatnich latach sektor energii był odpowiedzialny za około trzy czwarte światowych emisji gazów cieplarnianych (GHG). Osiągnięcie zerowych emisji CO₂ netto związanych z energią i procesami przemysłowymi do 2050 r. w scenariuszu NZE nie zależy od działań w obszarach innych niż sektor energii, jednak ograniczenie zmian klimatu wymaga takich działań. Dlatego też we współpracy z Międzynarodowym Instytutem Analizy Systemów Stosowanych (IIASA) zbadaliśmy dodatkowo redukcję emisji CO₂ z użytkowania gruntów, która byłaby współmierna do transformacji sektora energii w ramach scenariusza ZEN. Równoległe z działaniami na rzecz ograniczenia wszystkich innych źródeł emisji gazów cieplarnianych, osiągnięcie do 2050 r. zerowych emisji CO₂ netto z sektora energii daje około 50% szansę na ograniczenie długoterminowego średniego wzrostu temperatury na świecie do 1,5 °C bez przekroczenia temperatury (IPCC, 2018).

Celem scenariusza NZE jest zagwarantowanie tego, aby emisje CO₂ do 2030 r., związane z energią i procesami przemysłowymi, były zgodne z redukcjami przewidzianymi w scenariuszach zakładających wzrost temperatury o 1,5 °C bez przekroczenia temperatury lub z niskim lub ograniczonym przekroczeniem temperatury, oszacowanych przez IPCC w Specjalnym raporcie na temat globalnego ocieplenia na poziomie 1,5 °C.² Ponadto scenariusz NZE uwzględnia konkretne działania w zakresie związanych z energią celów zrównoważonego rozwoju ONZ dotyczących osiągnięcia powszechnego dostępu do energii do 2030 r. oraz znacznego zmniejszenia zanieczyszczenia powietrza. Prognozy uwzględnione w scenariuszu NZE zostały wygenerowane przez model hybrydowy, który łączy elementy Światowego Modelu Energetycznego (WEM) IEA, wykorzystywanego do tworzenia prognoz prezentowanych w corocznym raporcie *World Energy Outlook*, oraz modelu Energy Technology Perspectives (ETP).

¹ O ile nie stwierdzono inaczej, emisje dwutlenku węgla (CO₂) w niniejszym rozdziale oznaczają emisje CO₂ związane z energią i procesami przemysłowymi. Zerowe emisje CO₂ netto oznaczają zerowe emisje CO₂ do atmosfery lub wszelkie pozostałe emisje CO₂ równoważone przez usuwanie CO₂ poprzez bezpośrednie wychwytywanie z powietrza lub bioenergię z sekwestracją dwutlenku węgla.

² IPCC klasyfikuje scenariusze jako scenariusze przewidujące „brak lub ograniczone przekroczenie temperatury”, jeżeli temperatury przekraczają 1,5 °C o mniej niż 0,1 °C, ale wracają do poziomu poniżej 1,5 °C w 2100 r., oraz jako scenariusze przewidujące „większe przekroczenie”, jeżeli temperatury przekraczają 1,5 °C o 0,1-0,4 °C, ale wracają do poziomu poniżej 1,5 °C w 2100 r.

Ramka 2.1 ► Metoda modelowania Międzynarodowej Agencji Energetycznej dla scenariusza ZEN

Przy opracowaniu scenariusza NZE przyjęto nowe, hybrydowe podejście do modelowania, które łączy w sobie względne zalety modeli WEM i ETP. WEM to model symulacyjny na dużą skalę, zaprojektowany w celu odtworzenia funkcjonowania konkurencyjnych rynków energii oraz zbadania skutków polityk w poszczególnych sektorach i regionach. Model ETP to model częściowej optymalizacji na dużą skalę, zawierający szczegółowe opisy ponad 800 indywidualnych technologii w sektorach przetwarzania energii, przemysłu, transportu i budynków.

Takie podejście do modelowania zostało zastosowane po raz pierwszy. Połączenie tych dwóch modeli pozwala na uzyskanie unikalnej wiedzy na temat rynków energii, inwestycji, technologii oraz poziomu i szczegółowości polityk potrzebnych do przeprowadzenia transformacji sektora energii w ramach scenariusza NZE.

Wyniki z modeli WEM i ETP zostały sprzężone z modelem Interakcji i Synergii Gazów Ciepłarnianych – Zanieczyszczenia Powietrza (GAINS) opracowanym przez IIASA (Amann i in., 2011). Model GAINS jest wykorzystywany do oceny emisji zanieczyszczeń powietrza i wynikających z nich skutków zdrowotnych związanych z zanieczyszczeniem powietrza. Po raz pierwszy wyniki modelu IEA zostały połączone również z Globalnym Modelem Zarządzania Biosferą (GLOBIOM) IIASA w celu uzyskania danych na temat użytkowania gruntów i wpływu zapotrzebowania na bioenergię w postaci emisji netto.

Wpływ zmian w inwestycjach i wydatkach na globalny PKB w scenariuszu NZE został oszacowany przez Międzynarodowy Fundusz Walutowy (MFW) przy użyciu Globalnego Zintegrowanego Modelu Monetarnego i Fiskalnego (GIMF). GIMF to wielonarodowy dynamiczny stochastyczny model równowagi ogólnej wykorzystywany przez MFW do analizy polityk i ryzyk (Laxton i in., 2010; Anderson i in., 2013). Od 2008 r. jest on wykorzystywany do wykonywania analiz scenariuszy opisywanych w raportach MFW World Economic Outlook.

Istnieje wiele możliwych dróg prowadzących do osiągnięcia zerowych emisji CO₂ na całym świecie do 2050 r., jak również wiele niewiadomych, które mogą wpłynąć na każdą z nich; NZE jest zatem jedną z wielu ścieżek prowadzących do zerowych emisji netto. Wiele zależy na przykład od tempa innowacji w zakresie nowych i powstających technologii, od tego, w jakim stopniu obywatele będą w stanie lub będą skłonni zmienić swoje zachowanie, od dostępności zrównoważonej bioenergii oraz od zakresu i skuteczności współpracy międzynarodowej. Niektóre z kluczowych alternatyw i niepewności analizujemy tutaj i w rozdziale 3. Scenariusz zerowych emisji netto do roku 2050 opiera się na określonych poniżej zasadach.

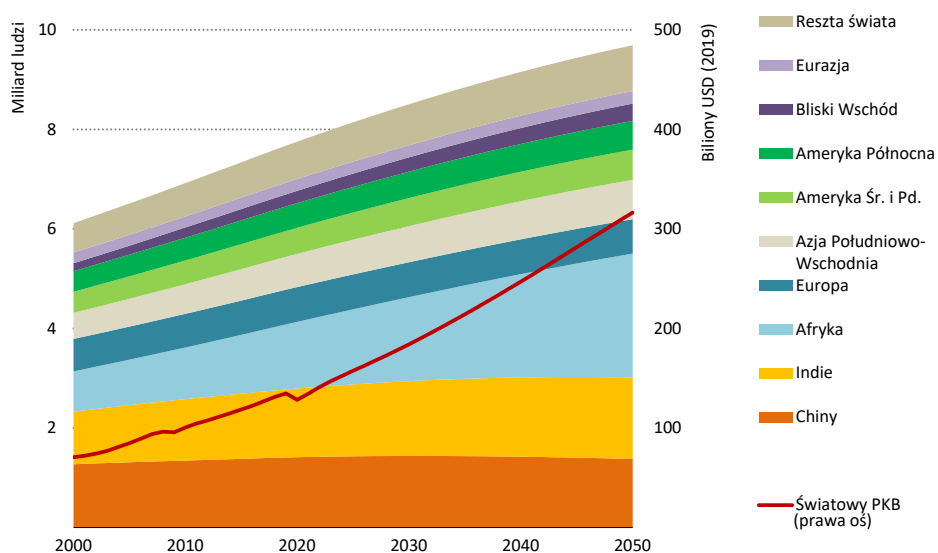
- Wykorzystanie wszystkich dostępnych technologii i możliwości redukcji emisji jest podyktowane kosztami, dojrzałością technologii, preferencjami politycznymi oraz warunkami rynkowymi i krajowymi.

- Wszystkie kraje współpracują na rzecz osiągnięcia zerowych emisji netto na całym świecie. Obejmuje to wszystkie kraje uczestniczące w wysiłkach na rzecz osiągnięcia celu, jakim są zerowe emisje netto, współpracujące w sposób skuteczny i przynoszący wzajemne korzyści, a także uznające różne etapy rozwoju gospodarczego krajów i regionów oraz znaczenie zapewnienia sprawiedliwej transformacji.
- Uporządkowane przejście w całym sektorze energii. Obejmuje to zapewnienie nieprzerwanego bezpieczeństwa dostaw paliw i energii elektrycznej, minimalizację tzw. aktywów osieroconych tam, gdzie to możliwe, a także dążenie do uniknięcia niestabilności na rynkach energii.

2.2.1 Liczba ludności i PKB

Transformacja sektora energii w scenariuszu NZE odbywa się w kontekście dużego wzrostu liczby ludności i wzrostu gospodarek na świecie (Rysunek 2.1). W 2020 r. na świecie żyło ok. 7,8 mld ludzi; przewiduje się, że do 2030 r. liczba ta wzrośnie o ok. 750 mln, a do 2050 r. o prawie 2 mld ludzi, zgodnie z wariantem medianowym prognoz Organizacji Narodów Zjednoczonych (UNDESA, 2019). Prawie cały wzrost populacji dotyczy rynków wschodzących i gospodarek rozwijających się: liczba ludności w samej Afryce wzrośnie w latach 2020-2050 o ponad 1,1 mld.

Rysunek 2.1 ▶ Ludność świata według regionów i globalny PKB w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Do 2050 r. liczba ludności na świecie wzrośnie do 9,7 mld, a globalna gospodarka będzie ponad dwukrotnie większa niż w 2020 r.

Wyjaśnienie: PKB = produkt krajowy brutto według parytetu siły nabywczej; Ameryka Ś i P = Ameryka Środkowa i Południowa.

Źródła: Analiza IEA na podstawie UNDESA (2019); Oxford Economics (2020); MFW (2020a, 2020b).

Zakłada się, że gospodarka światowa szybko powróci do równowagi po pandemii COVID-19. Jej wielkość powróci do poziomu sprzed kryzysu w 2021 r. Od 2022 r. tempo wzrostu PKB będzie zbliżone do tempa sprzed pandemii i wyniesie średnio około 3% rocznie, zgodnie z ocenami MFW. Reakcja na pandemię doprowadzi do znacznego wzrostu długu publicznego, ale powrót wzrostu gospodarczego, wraz z niskimi stopami procentowymi w wielu krajach, sprawią, że w dłuższej perspektywie czasowej będzie można sobie z tym poradzić. W 2030 r. gospodarka światowa będzie o około 45% większa a w 2050 r. – ponad dwukrotnie większa niż w 2020 r.

2.2.2 Ceny energii i CO₂

Prognozy dotyczące przyszłych cen energii są nieuchronnie obciążone wysokim stopniem niepewności. W scenariuszach IEA mają one za zadanie utrzymać równowagę między podażą a popytem. Gwałtowny spadek zapotrzebowania na ropę naftową i gaz ziemny w scenariuszu NZE oznacza, że nie będzie potrzeby prowadzenia poszukiwań paliw kopalnych i nie będą potrzebne nowe złoża ropy naftowej i gazu ziemnego poza tymi, które zostały już zatwierdzone do eksploatacji. Nie będą też potrzebne nowe kopalnie węgla ani rozbudowa kopalń istniejących. Ceny w coraz większym stopniu ustalane będą na podstawie kosztów operacyjnych marginalnego projektu niezbędnego do zaspokojenia popytu, co będzie skutkowało znacznie niższymi cenami paliw kopalnych niż w ostatnich latach. Cena ropy spadnie do około 35 USD za baryłkę do roku 2030, a następnie powoli będzie obniżać się do 25 USD za baryłkę w roku 2050.

Tabela 2.1 ► Ceny paliw kopalnych w scenariuszu NZE

Warunki realne (USD 2019)	2010	2020	2030	2040	2050
Ropa naftowa wg IEA (USD/baryłka)	91	37	35	28	24
Gaz ziemny (USD/MBtu)					
Stany Zjednoczone	5,1	2,1	1,9	2,0	2,0
Unia Europejska	8,7	2,0	3,8	3,8	3,5
Chiny	7,8	5,7	5,2	4,8	4,6
Japonia	12,9	5,7	4,4	4,2	4,1
Węgiel energetyczny (USD/tonę)					
Stany Zjednoczone	60	45	24	24	22
Unia Europejska	108	56	51	48	43
Japonia	125	75	57	53	49
Chiny – regiony przybrzeżne	135	81	60	54	50

Wyjaśnienie: MBtu = milion brytyjskich jednostek ciepła. Ceny ropy naftowej wg IEA to średnia ważona cena importowa w krajach członkowskich IEA. Ceny gazu ziemnego to średnie ważne wyrażone na podstawie wartości opałowej brutto. Ceny gazu ziemnego w USA odzwierciedlają cenę hurtową obowiązującą na rynku krajowym. Ceny gazu ziemnego w Unii Europejskiej i Chinach odzwierciedlają równowagę pomiędzy importem poprzez gazociągi i importem skroplonego gazu ziemnego (LNG), natomiast ceny gazu w Japonii odzwierciedlają wyłącznie import LNG. Stosowane ceny LNG to ceny na granicy celnej, przed regazyfikacją. Ceny węgla energetycznego to średnie ważne skorygowane do 6000 kilokalorii na kilogram. Ceny węgla energetycznego w USA odzwierciedlają cenę z kopalni plus koszty transportu i przeładunku. Cena węgla energetycznego w regionach przybrzeżnych Chin odzwierciedla równowagę pomiędzy importem a sprzedażą krajową, natomiast ceny węgla energetycznego w Unii Europejskiej i Japonii dotyczą wyłącznie importu.

Zgodnie z zasadą uporządkowanych przemian obowiązującą w scenariuszu NZE, trajektoria zmian rynków i cen ropy naftowej pozwala na uniknięcie nadmiernej zmienności. To, co się stanie, zależy w dużym stopniu od strategii przyjętych przez bogate w zasoby rządy i ich narodowe koncerny naftowe. W scenariuszu NZE zakłada się, że pomimo dysponowania tańszymi zasobami, ograniczą one inwestycje w nowe złoża. Ograniczy to konieczność rezygnacji i zamykania produkcji o wyższych kosztach. W scenariuszu NZE udział najważniejszych krajów bogatych w zasoby naturalne w rynku wciąż jednak będą wzrastać ze względu na duże rozmiary i powolne tempo zmniejszania się ich istniejących pól.

Kraje producenckie mogą zastosować alternatywne podejścia. W obliczu gwałtownie spadającego popytu na ropę i gaz mogą one na przykład zdecydować się na zwiększenie produkcji, aby zdobyć jeszcze większy udział w rynku. W takim przypadku połączenie spadającego popytu i zwiększonej dostępności taniej ropy bez wątpienia doprowadziłoby do jeszcze niższych – i prawdopodobnie znacznie bardziej niestabilnych – cen. W praktyce opcje dostępne dla poszczególnych krajów producenckich zależałyby od ich odporności na niższe ceny ropy naftowej oraz od tego, w jakim stopniu rozwinęły się rynki eksportowe paliw niskoemisyjnych, które mogłyby być wytwarzane z ich zasobów naturalnych.

Przewidywanie i łagodzenie sprzężeń zwrotnych ze strony podaży jest głównym elementem dyskusji na temat uporządkowanych przemian energetycznych. Spadek cen zwykle powoduje pewne ożywienie popytu, a polityki i regulacje miałyby zasadnicze znaczenie dla uniknięcia sytuacji, w której prowadziłoby to do jakiegokolwiek wzrostu zużycia paliw kopalnych wytwarzanych bez systemów redukcji emisji, co podważyłoby szersze wysiłki na rzecz ograniczenia emisji.

W miarę transformacji sektora energii, na całym świecie będzie handlować się większą ilością paliw, takich jak paliwa na bazie wodoru i biopaliwa. Zakłada się, że ceny tych towarów będą zależne od kosztu krańcowego produkcji krajowej lub importu w każdym regionie.

W scenariuszu NZE, we wszystkich regionach wprowadzony zostanie szeroki zakres polityk energetycznych i działań towarzyszących w celu zmniejszenia emisji. Obejmuje to nakazy stosowania paliw odnawialnych, normy sprawności, reformy rynkowe, badania, rozwój i wdrażanie oraz eliminację nieefektywnych dopłat do paliw kopalnych. W niektórych przypadkach konieczne będą również bezpośrednie regulacje dotyczące redukcji emisji. Na przykład w sektorze transportu wprowadzane będą regulacje mające na celu ograniczenie sprzedaży pojazdów z silnikami spalinowymi oraz zwiększenie wykorzystania biopaliw płynnych i paliw syntetycznych w lotnictwie i transporcie morskim, a także środki mające uniemożliwić wzrost zużycia ropy naftowej ze względu na jej niskie ceny.

W scenariuszu NZE we wszystkich regionach wprowadzone zostaną ceny CO₂ (Tabela 2.2). Zakłada się, że zostaną one wprowadzone w najbliższej przyszłości we wszystkich rozwiniętych gospodarkach w sektorach wytwarzania energii elektrycznej, przemysłu i produkcji energii oraz że do 2030 r. wzrosną one średnio do 130 USD za tonę (tCO₂) a do 2050 r. do 250 USD/tCO₂. Zakłada się, że w szeregu innych dużych gospodarek – w tym w Chinach, Brazylii, Rosji i Republice Południowej Afryki – ceny CO₂ w tych sektorach wzrosną do 2050 r.

do około 200 USD/tCO₂. Ceny CO₂ zostaną wprowadzone na wszystkich pozostałych rynkach wschodzących i gospodarkach rozwijających się, chociaż zakłada się, że będą one prowadzić bardziej bezpośrednią politykę dostosowania i przekształcenia swoich systemów energetycznych, a zatem poziom cen CO₂ będzie tam niższy niż gdzie indziej.

Tabela 2.2 ► Ceny CO₂ dla sektora energii elektrycznej, przemysłu i produkcji energii w scenariuszu NZE

1 USD (2019) za tonę CO ₂	2025	2030	2040	2050
Gospodarki rozwinięte	75	130	205	250
Wybrane rynki wschodzące i gospodarki rozwijające się*	45	90	160	200
Inne rynki wschodzące i gospodarki rozwijające się	3	15	35	55

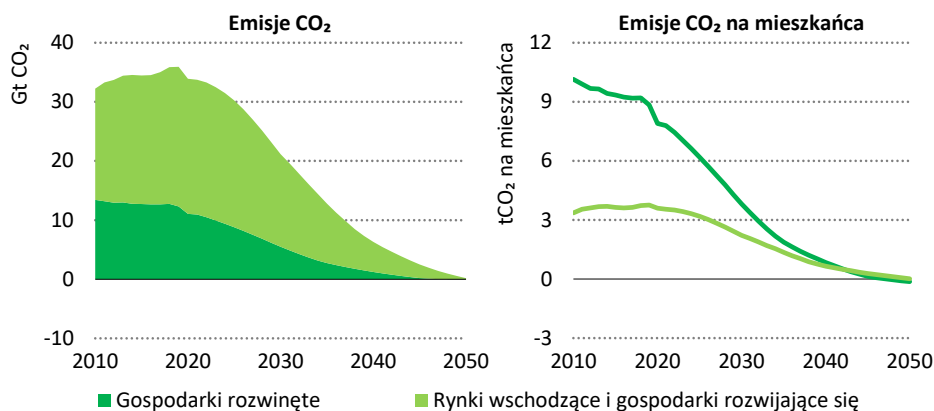
* Obejmują Chiny, Rosję, Brazylię i Republikę Południowej Afryki.

2.3 Emisje CO₂

W scenariuszu NZE, globalne emisje CO₂ związane z energetyką i procesami przemysłowymi spadną do około 21 Gt CO₂ w 2030 r. i do wartości zerowej netto w 2050 r. (Rysunek 2.2).³ Emisje CO₂ w gospodarkach rozwiniętych jako całości spadną do zerowej wartości netto do około 2045 r., a w 2050 r. kraje te łącznie usuną z atmosfery około 0,2 Gt CO₂. Emisje na kilku pojedynczych rynkach wschodzących i gospodarkach rozwijających się również spadną do poziomu zerowego netto na długo przed 2050 r., ale łącznie w tej grupie krajów w 2050 r. pozostanie około 0,2 Gt CO₂ emisji. Będą one równoważone przez usuwanie CO₂ w gospodarkach rozwiniętych, co da zerowe emisje CO₂ netto na poziomie globalnym.

³ W okresie do 2030 r. emisje CO₂ w scenariuszu NZE będą spadać w tempie zasadniczo podobnym do ścieżki ilustracyjnej P2 w raporcie IPCC SR 1.5 (IPCC, 2018). Scenariusz P2 jest opisany jako „scenariusz, w którym ... następuje zmiana w kierunku zrównoważonych i zdrowych wzorców konsumpcji, innowacji w zakresie technologii niskoemisyjnych oraz dobrze zarządzanych systemów gruntów z ograniczoną akceptacją społeczną dla BECCS [bioenergii z wychwytywaniem i składowaniem dwutlenku węgla]”. Po 2030 r. emisje w scenariuszu NZE będą spadać w znacznie szybszym tempie niż w scenariuszu P2, w którym w 2050 r. pozostawać będzie 5,6 Gt CO₂ emisji resztkowych z sektora energii i procesów przemysłowych.

Rysunek 2.2 ► Globalne emisje CO₂ netto w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Emisje CO₂ netto spadną do zera netto w gospodarkach rozwiniętych około 2045 r., a na całym świecie do 2050 r. Emisje na mieszkańca w skali globalnej będą podobne na początku lat 2040

Wyjaśnienie: Obejmuje to emisje CO₂ z międzynarodowego transportu lotniczego i morskigo.

Kilka rynków wschodzących i gospodarek rozwijających się o bardzo dużym potencjale w zakresie produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych i bioenergii będzie również kluczowym źródłem usuwania dwutlenku węgla (CDR). Obejmuje to wykorzystanie odnawialnych źródeł energii elektrycznej do produkcji dużych ilości biopaliw z CCUS, z których część będzie eksportowana, jak również do bezpośredniego wychwytywania z powietrza i składowania dwutlenku węgla (DACCS).

Emisje CO₂ na mieszkańca w gospodarkach rozwiniętych spadną z około 8 tCO₂ na mieszkańca w 2020 r. do około 3,5 tCO₂ na mieszkańca w 2030 r., czyli do poziomu zbliżonego do wartości średniej dla rynków wschodzących i gospodarek rozwijających się w 2020 r. Emisje na mieszkańca spadną również na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się, ale z dużo niższej wartości początkowej. Na początku lat 2040. emisje na mieszkańca w obu typach rynków i gospodarek będą zasadniczo podobne i wyniosą około 0,5 t CO₂ na osobę.

W scenariuszu NZE skumulowane globalne emisje CO₂ związane z energią i procesami przemysłowymi w latach 2020-2050 nieco ponad 460 Gt. Zakładane równoległe działania mające na celu ograniczenie emisji CO₂ z rolnictwa, leśnictwa i innych form użytkowania gruntów (AFOLU) w okresie do 2050 r. umożliwiłyby uzyskanie około 40 Gt CO₂ z AFOLU (zob. punkt 2.7.2). Oznacza to, że całkowite emisje CO₂ ze wszystkich źródeł – około 500 Gt CO₂ – są zgodne z budżetami CO₂ zawartymi w raporcie IPCC SR1.5, w którym wskazano, że całkowity budżet CO₂ od 2020 r. zgodny z 50% prawdopodobieństwem

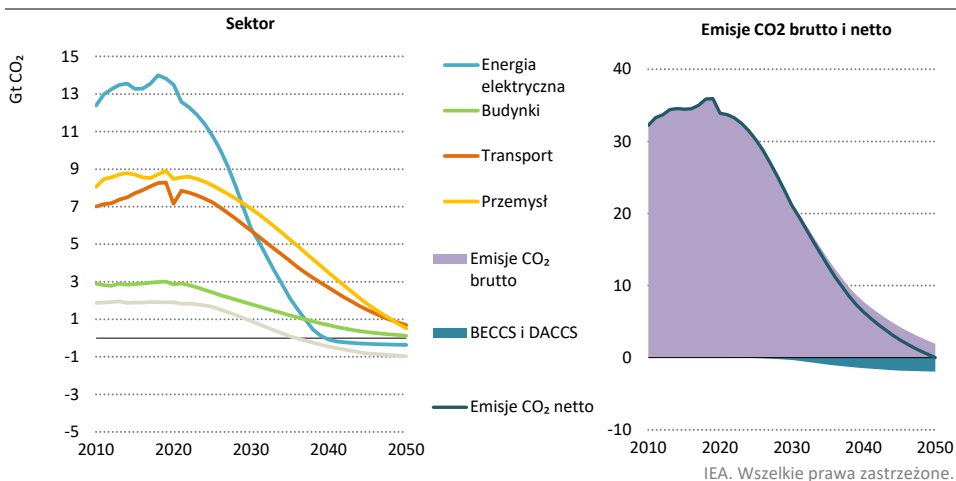
ograniczenia wzrostu temperatury do 1,5 °C wynosi 500 Gt CO₂ (IPCC, 2018).⁴ Oprócz redukcji emisji CO₂ netto do poziomu zerowego, celem scenariusza NZE jest redukcja emisji innych niż CO₂ z sektora energii. Przykładowo, emisje metanu pochodzące z produkcji i wykorzystania paliw kopalnych spadną ze 115 mln ton (Mt) metanu w 2020 r. (3,5 Gt ekwiwalentu CO₂ [CO₂e]) do 30 Mt metanu w 2030 r. i 10 Mt w 2050 r.⁵

Najszybsze i największe redukcje globalnych emisji w scenariuszu NZE występują początkowo w sektorze elektroenergetycznym (Rysunek 2.3). Wytwarzanie energii elektrycznej było największym źródłem emisji w 2020 r., ale w okresie do 2030 r. emisje spadną o prawie 60%, głównie dzięki znacznemu ograniczeniu emisji z elektrowni węglowych, a około 2040 r. sektor elektroenergetyczny stanie się niewielkim ujemnym źródłem emisji netto. Emisje z sektora budynków spadną o 40% w latach 2020-2030 dzięki odejściu od stosowania kotłów na paliwa kopalne oraz modernizacji istniejących budynków w celu poprawy ich charakterystyki energetycznej. Emisje z przemysłu i transportu spadną w tym okresie o około 20%, a tempo ich redukcji przyspieszy w latach 2030. w miarę wprowadzania na rynek paliw niskoemisyjnych i innych możliwości ograniczania emisji. Niemniej jednak w transporcie i przemyśle istnieje szereg obszarów – takich jak lotnictwo i przemysł ciężki – w których trudno jest całkowicie wyeliminować emisje; w obu tych sektorach poziom emisji resztkowych w 2050 r. będzie niewielki. Te emisje resztkowe będą kompensowane przez zastosowanie systemów BECCS i DACCS.

⁴ Budżet ten określono na podstawie tabeli 2.2 zawartej w raporcie IPCC SR1.5 (IPCC, 2018). Zakłada się w nim dodatkowe ocieplenie o 0,53 °C w stosunku do lat 2006-2015, co daje budżet CO₂ pozostały po 2018 r. w wysokości 580 Gt CO₂. W latach 2018-2020 wyemitowano około 80 Gt CO₂.

⁵ Gazy inne niż CO₂ są przeliczane na ekwiwalenty CO₂ w oparciu o 100-letnie współczynniki globalnego ocieplenia określone w 5. raporcie oceniającym IPCC (ipcc, 2014). Jedna tona metanu stanowi ekwiwalent 30 ton CO₂.

Rysunek 2.3 ► Globalne emisje CO₂ netto według sektorów oraz emisje CO₂ brutto i netto w scenariuszu NZE



Emisje z energii elektrycznej będą spadać najszybciej, a w przemyśle i transporcie ich spadek przyspieszy w latach 2030. W 2050 r. około 1,9 Gt CO₂ zostanie usunięte dzięki BECCS i DACCS

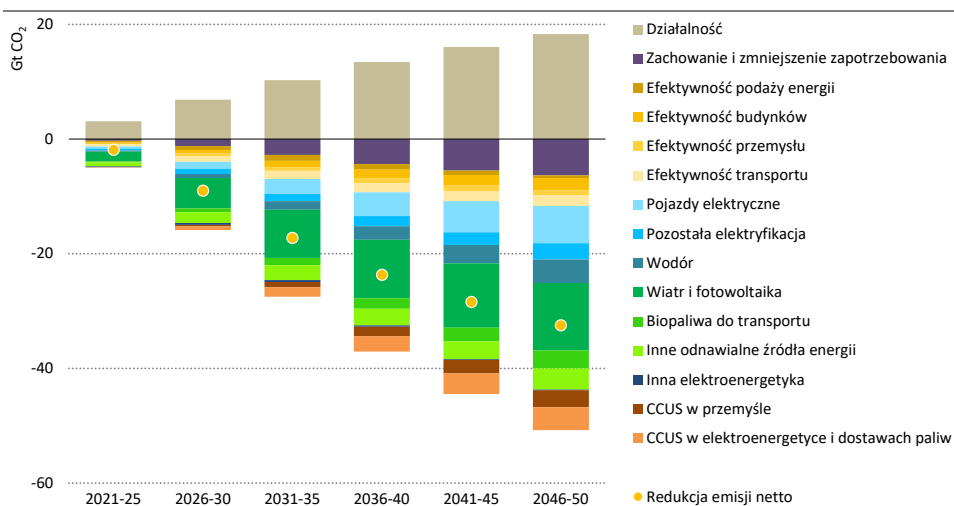
Wyjaśnienie: Inne = rolnictwo, produkcja paliw, transformacja i powiązane emisje technologiczne oraz bezpośrednie pochłanianie z powietrza. BECCS = bioenergia z wychwytywaniem i składowaniem dwutlenku węgla; DACCS = bezpośrednie wychwytywanie z powietrza i składowanie dwutlenku węgla. BECCS i DACCS obejmują wychwytywane i trwale składowane emisje CO₂.

Scenariusz NZE obejmuje systematyczne preferencje dla wszystkich nowych aktywów i infrastruktury, które są jak najbardziej zrównoważone i sprawne, co odpowiada 50% całkowitej redukcji emisji w 2050 roku. Przeciwdziałanie emisjom z istniejącej infrastruktury odpowiada za kolejne 35% redukcji w 2050 r., natomiast zmiany zachowań i ograniczenie zapotrzebowania, w tym wzrost efektywności wykorzystania⁶ materiałów i zmiany w wyborze środków transportu w sektorze transportu, odpowiadają za pozostałe 15% redukcji emisji (zob. punkt 2.5.2). W scenariuszu NZE przewidziano zastosowanie szerokiego zakresu technologii i środków mających na celu zmniejszenie emisji z istniejącej infrastruktury, takiej jak elektrownie, zakłady przemysłowe, budynki, sieci, sprzęt i urządzenia. Scenariusz NZE został skonstruowany tak, aby w miarę możliwości zminimalizować kapitał osierocony, tj. przypadki, w których początkowa inwestycja nie zwraca się, ale w wielu przypadkach wcześniejsze wycofanie z eksploatacji lub mniejsze wykorzystanie prowadzi do osieroconej wartości, tj. zmniejszenia przychodów.

⁶ Efektywność materiałowa obejmuje strategie zmniejszające zapotrzebowanie na materiały lub przewidujące przestawienie się na materiały o niższej emisji lub trasy produkcyjne charakteryzujące się niższymi emisjami. Przykłady to zmniejszenie masy i recykling.

W scenariuszu NZE, szybkie wdrażanie bardziej energooszczędnych technologii, elektryfikacja końcowych użytkowników (odbiorców) energii oraz szybki rozwój odnawialnych źródeł energii odgrywają kluczową rolę w redukcji emisji we wszystkich sektorach (Rysunek 2.4). Do 2050 r. prawie 90% z całkowitej wyprodukowanej energii elektrycznej będzie pochodzić ze źródeł odnawialnych, podobnie jak około 25% energii innej niż elektryczna wykorzystywanej w przemyśle i budynkach. Istotną rolę odgrywać również będą nowe paliwa i technologie, zwłaszcza paliwa wodorowe i na bazie wodoru, bioenergia i CCUS, zwłaszcza w sektorach, w których ograniczenie emisji jest często najtrudniejsze.

Rysunek 2.4 ▶ Średnie roczne redukcje emisji CO₂ od 2020 r. w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Odnawialne źródła energii i elektryfikacja w największym stopniu przyczynią się do redukcji emisji, ale do osiągnięcia zerowych emisji netto potrzebny jest szeroki wachlarz środków i technologii

Wyjaśnienie: Działalność = zmiany w zapotrzebowaniu na usługi energetyczne wynikające z rozwoju gospodarczego i wzrostu liczby ludności.

Zachowanie = zmiana w zapotrzebowaniu na usługi energetyczne wynikająca z decyzji użytkownika, np. zmiana temperatury ogrzewania.

Zmniejszenie zapotrzebowania = zmiana w zapotrzebowaniu na usługi energetyczne wynikająca z rozwoju technologii, np. cyfryzacji.

2.4 Całkowita podaż energii i końcowe zużycie energii

2.4.1 Całkowita podaż energii⁷

2

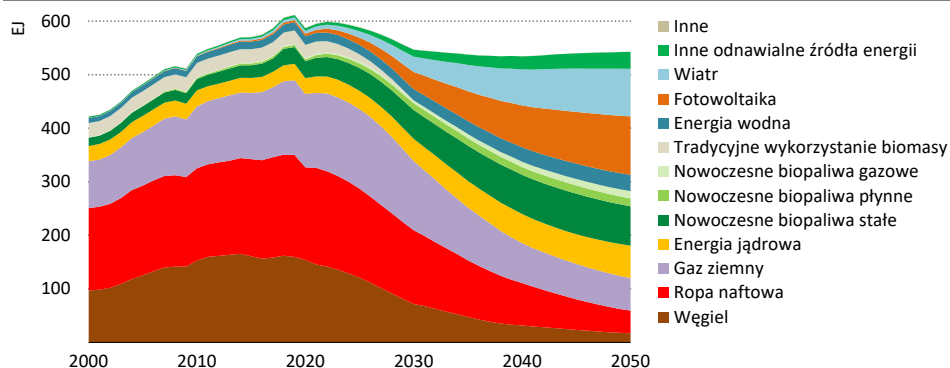
Całkowita podaż energii spadnie do 550 eksadżuli (EJ) w 2030 r., czyli wyniesie o 7% mniej niż w 2020 r. (Rysunek 2.5). Stanie się tak pomimo znacznego wzrostu liczby ludności i rozwoju gospodarki na świecie ze względu na spadek energochłonności (ilość energii zużywanej do wytworzenia jednostki PKB). W latach 2020-2030 energochłonność będzie spadać średnio o 4% rocznie. Będzie to możliwe dzięki połączeniu elektryfikacji, dążeniu do wykorzystania wszystkich możliwości w zakresie efektywności energetycznej i materiałowej, zmianom zachowań, które ograniczą zapotrzebowanie na usługi energetyczne, oraz znacznemu odejściu od tradycyjnego wykorzystania bioenergii.⁸ Taki poziom poprawy w zakresie energochłonności jest znacznie większy niż osiągnięty w ostatnich latach: w latach 2010-2020 spadek średniorocznej energochłonności wynosił mniej niż 2% rocznie.

Po 2030 r. dalsza elektryfikacja sektorów końcowego wykorzystania energii przyczyni się do dalszego zmniejszenia energochłonności, ale nacisk na maksymalne zwiększenie efektywności energetycznej w latach do 2030 r. ograniczy możliwości dostępne w późniejszych latach. Równocześnie rosnąca produkcja nowych paliw, takich jak zaawansowane biopaliwa, wodór i paliwa syntetyczne, spowoduje wzrost zużycia energii. W rezultacie tempo spadku energochłonności w latach 2030-2050 spadnie do 2,7% rocznie. Przy utrzymującym się wzroście gospodarczym i rosnącej liczbie ludności, całkowita podaż energii spadnie nieznacznie w latach 2030-2040, a następnie pozostanie zasadniczo na tym samym poziomie do 2050 r. Całkowita podaż energii w 2050 r. w scenariuszu NZE jest zbliżona do poziomu z 2010 r., pomimo wzrostu liczby ludności na świecie o prawie 3 mld i ponad trzykrotnie większej gospodarki światowej.

⁷ Termin „całkowita podaż energii pierwotnej” (TPES) lub „całkowite zapotrzebowanie na energię pierwotną” (TPED) został zastąpiony terminem „całkowita podaż energii” (TES) zgodnie z Międzynarodowymi zaleceniami dotyczącymi statystyki w obszarze energii (IEA, 2020a).

⁸ Nowoczesne formy gotowania wymagają zużycia znacznie mniejszej ilości energii niż tradycyjne wykorzystywanie biomasy w niewydajnych piecach. Na przykład gotowanie przy użyciu pieca na gaz płynny wiąże się ze zużyciem około pięć razy mniejszej ilości energii niż tradycyjne wykorzystanie biomasy.

Rysunek 2.5 ► Całkowita podaż energii w scenariuszu NZE



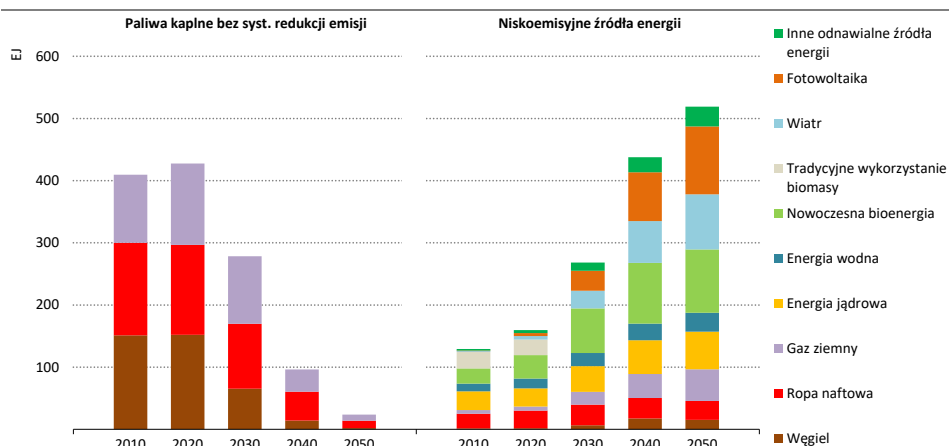
IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

W scenariuszu NZE, odnawialne źródła energii i energia jądrowa zastąpią większość paliw kopalnych, a udział paliw kopalnych spadnie z 80% w 2020 r. do nieco ponad 20% w 2050 r.

W scenariuszu NZE, w 2050 r. miks energetyczny będzie znacznie bardziej zróżnicowany niż obecnie. W 2020 r. ropa naftowa pokrywała 30% całkowitej podaży energii, węgiel 26%, a gaz ziemny 23%. W 2050 roku odnawialne źródła energii, w tym bioenergia, energia wiatrowa, fotowoltaika, hydroenergia i energia geotermalna, pokryją dwie trzecie zapotrzebowania na energię (Rysunek 2.6). Nastąpi również znaczny wzrost podaży energii z elektrowni jądrowych, która w latach 2020-2050 niemal ulegnie podwojeniu.

W scenariuszu NZE nastąpi znaczna redukcja wykorzystania paliw kopalnych. Ich udział w całkowitej podaży energii spadnie z 80% w 2020 r. do nieco ponad 20% w 2050 r. Ich wykorzystanie nie spadnie jednak do zera w 2050 r.: znaczne ilości będą nadal wykorzystywane do produkcji towarów nieenergetycznych, w zakładach z systemami CCUS oraz w sektorach, w których szczególnie trudno jest ograniczyć emisje, takich jak przemysł ciężki i transport na dużych odległościach. Wszystkie pozostałe emisje w 2050 r. będą równoważone przez ujemne emisje w innych sektorach (Ramka 2.2). Zużycie węgla spadnie z 5250 mln ton ekwiwalentu węgla (Mtce) w 2020 r. do 2500 Mtce w 2030 r. i do mniej niż 600 Mtce w 2050 r., co oznacza 7% średniego rocznego spadku każdego roku w latach 2020-2050. Popyt na ropę naftową spadnie poniżej wartości 90 mln baryłek dziennie (mb/d) odnotowanej w 2020 r. i nie powróci do szczytowego poziomu z 2019 r.: spadnie do 72 mb/d w 2030 r. i 24 mb/d w 2050 r., co oznacza średnio ponad 4% rocznego spadku w latach 2020-2050. Zużycie gazu ziemnego spadnie do 3 900 mld metrów sześciennych (mld m³) w 2020 r., ale przekroczy wcześniejszą wartość maksymalną z 2019 r. w połowie lat 2020., po czym zacznie spadać w miarę rezygnacji z jego wykorzystania w sektorze energii elektrycznej. Zużycie gazu ziemnego zmniejszy się do 3 700 mld m³ w 2030 r. i 1 750 mld m³ w 2050 r., co oznacza średni roczny spadek w latach 2020-2050 o nieco poniżej 3%.

Rysunek 2.6 ► Całkowita podaż energii z paliw kopalnych wykorzystywanych bez systemów redukcji emisji i niskoemisyjnych źródeł energii w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Niektóre paliwa kopalne będą nadal wykorzystywane w 2050 r. w produkcji dóbr nieenergetycznych, w zakładach wyposażonych w systemy CCUS oraz w sektorach, w których trudno jest ograniczyć emisje

Wyjaśnienie: Niskoemisyjne źródła energii obejmują wykorzystanie paliw kopalnych z systemami CCUS oraz w zastosowaniach nieenergetycznych.

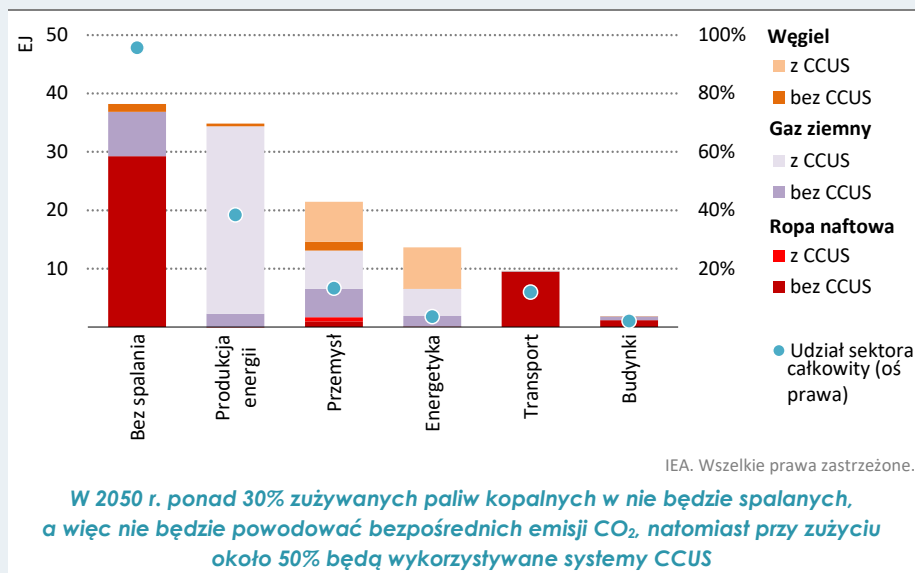
Ramka 2.2 ► Dlaczego w scenariuszu NZE zużycie paliw kopalnych nie spadnie do zera w 2050 r.?

W scenariuszu NZE, w 2050 roku zostanie zużyte łącznie około 120 EJ paliw kopalnych w porównaniu z 460 EJ w 2020 roku. Trzy główne powody, dla których zużycie paliw kopalnych nie spadnie do zera w 2050 r., mimo że sektor energii nie będzie źródłem żadnych emisji CO₂ netto:

- **Wykorzystanie do celów nieenergetycznych.** W scenariuszu NZE, ponad 30% całkowitego zużycia paliw kopalnych w 2050 r. – w tym 70% zużycia ropy naftowej – przypada na zastosowania, w których paliwa nie są spalane, a więc nie powodują żadnych bezpośrednich emisji CO₂ (Rysunek 2.7). Przykłady to między innymi wykorzystanie paliw kopalnych jako surowców chemicznych oraz w smarach, parafinach i asfalcie. Scenariusz NZE przewiduje podjęcie znacznych wysiłków w celu ograniczenia zużycia paliw kopalnych w tych zastosowaniach: przykładowo, globalne wskaźniki zbiórki tworzyw sztucznych do recyklingu wzrosną z 15% w 2020 r. do 55% w 2050 r., ale zużycie paliw kopalnych w zastosowaniach nieenergetycznych będzie nadal nieznacznie wzrastać do 2050 r.

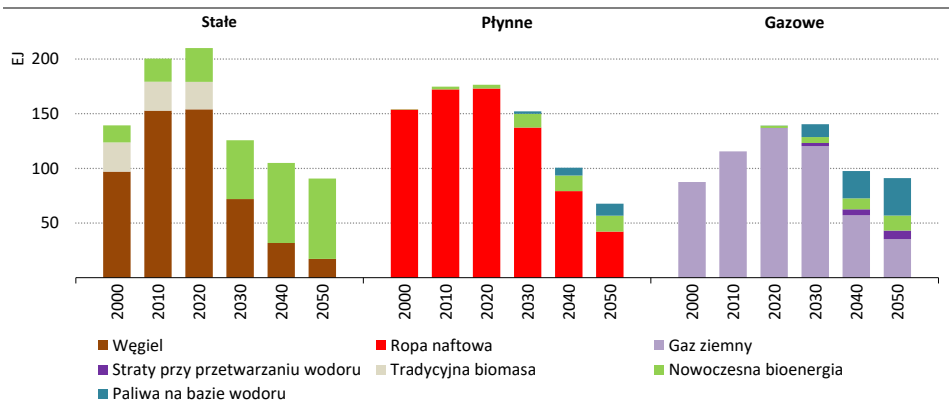
- **Wykorzystanie z systemami CCUS.** Około połowa zużycia paliw kopalnych w 2050 r. będzie przypadać na zakłady wyposażone w systemy CCUS (w 2050 r. z paliw kopalnych zostanie wychwyconych około 3,5 Gt CO₂). Za pomocą CCUS, około 925 mld m³ gazu ziemnego zostanie przekształconych w wodór. Ponadto około 470 Mtce węgla i 225 mld m³ gazu ziemnego zostanie wykorzystanych w obiektach z systemami CCUS w sektorze energii i przemysłu, głównie w celu przedłużenia działania młodych obiektów i ograniczenia liczby aktywów osieroconych.
- **Wykorzystanie w sektorach, w których możliwości technologiczne są ograniczone.** W scenariuszu NZE, pozostałe 20% zużycia paliw kopalnych w 2050 r. przypada na sektory, w których całkowita eliminacja emisji jest szczególnie trudna. Jest to przede wszystkim ropa naftowa, ponieważ w dalszym ciągu będzie ona wykorzystywana jako paliwo w szczególności w lotnictwie. Niewielkie ilości węgla i gazu ziemnego bez systemów redukcji emisji będą wykorzystywane w przemyśle i do wytwarzania energii. Wykorzystywanie paliw kopalnych bez systemów redukcji emisji spowoduje w 2050 r. emisje około 1,7 Gt CO₂ które będą w pełni kompensowane przez BECCS i DACCS.

Rysunek 2.7 ▸ Zużycie paliw kopalnych i udział w podziale na sektory w 2050 r. w scenariuszu NZE



Wyjaśnienie: Zastosowania bez spalania obejmują wykorzystanie do celów niepowodujących emisji i nieenergetycznych, takich jak surowce petrochemiczne, smary i asfalt. Produkcja energii obejmuje zużycie paliwa do bezpośredniego wychwytywania z powietrza.

Rysunek 2.8 ► Paliwa stałe, płynne i gazowe w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Wzrost zużycia niskoemisyjnych paliw stałych, płynnych i gazowych pochodzących z bioenergii, wodoru i paliw na bazie wodoru częściowo skompensuje spadek zużycia węgla, ropy naftowej i gazu ziemnego

Wyjaśnienie: Straty przy przetwarzaniu wodoru = zużycie gazu ziemnego przy produkcji niskoemisyjnego wodoru handlowego z wykorzystaniem parowego reformingu metanu. Paliwa na bazie wodoru obejmują wodór, amoniak i paliwa syntetyczne.

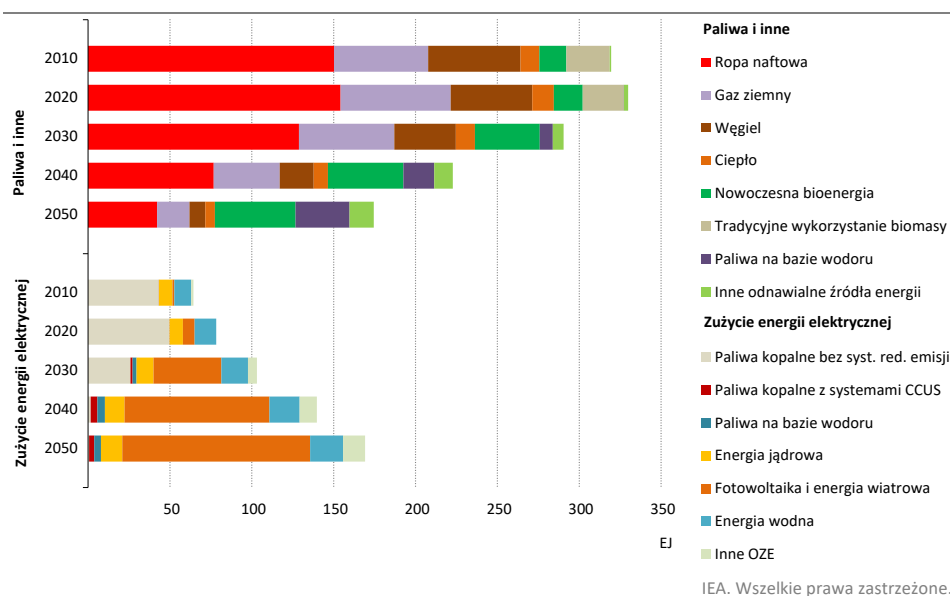
2.4.2 Całkowite zużycie końcowe

W scenariuszu NZE, całkowite zużycie końcowe energii na świecie nieznacznie wzrośnie po 5% spadku w 2020 r., ale nigdy nie wróci do poziomu z 2019 r. (435 EJ). W latach 2025-2050 będzie ono spadać średnio o niecały 1% rocznie do poziomu 340 EJ. Działania na rzecz efektywności energetycznej i elektryfikacja to dwa główne czynniki przyczyniające się do tego zjawiska, przy czym pewną rolę odgrywać będą również zmiany zachowań i efektywność wykorzystania materiałów. Bez tych ulepszeń końcowe zużycie energii w 2050 r. wyniosłoby około 640 EJ, czyli o około 90% więcej niż poziom przewidziany w scenariuszu NZE. Końcowe zużycie energii elektrycznej wzrośnie w latach 2020-2030 o 25%, a w 2050 r. będzie ponad dwukrotnie wyższe niż w 2020 r. Wzrost zużycia energii elektrycznej w sektorach użytkowania końcowego oraz w produkcji wodoru w scenariuszu NZE oznacza, że całkowity roczny wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną będzie równy dodaniu każdego roku rynku energii elektrycznej o wielkości rynku Indii. Udział energii elektrycznej w globalnym końcowym zużyciu energii wzrośnie z 20% w 2020 r. do 26% w 2030 r. i do około 50% w 2050 r. (Rysunek 2.9). Bezpośrednie wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w budynkach i przemyśle wraz z niskoemisyjnymi paliwami, takimi jak bioenergia i paliwa na bazie wodoru, pokryje dalsze 28% końcowego zużycia energii w 2050 r.; pozostałą część pokryją paliwa kopalne, z których większość będzie wykorzystywana w procesach nieemisyjnych lub w obiektach wyposażonych w systemy CCUS.

W przemyśle większość redukcji globalnych emisji w scenariuszu NZE w okresie do 2030 r. zostanie osiągnięta dzięki poprawie efektywności energetycznej i wykorzystania materiałów, elektryfikacji ogrzewania oraz przechodzeniu na paliwa wykorzystujące słoneczną energię ciepłą, energię geotermalną i bioenergię. W późniejszym okresie systemy CCUS i wodór będą odgrywać coraz ważniejszą rolę w ograniczaniu emisji CO₂, szczególnie w branżach przemysłu ciężkiego, takich jak przemysł stalowy, cementowy i chemiczny. Zużycie energii elektrycznej w przemyśle zwiększy się w latach 2020-2050 ponad dwukrotnie, pokrywając 45% całkowitego zapotrzebowania na energię w przemyśle w 2050 r. (Rysunek 2.10).

Zapotrzebowanie na wodór handlowy w przemyśle wzrośnie z obecnego poziomu poniżej 1 Mt do około 40 Mt w 2050 r. Kolejne 10% zapotrzebowania na energię w przemyśle w 2050 r. będzie pokrywane przez paliwa kopalne wykorzystywane w elektrowniach wyposażonych w systemy CCUS.

Rysunek 2.9 ▸ Globalne końcowe zużycie ogółem według paliw w scenariuszu NZE



Udział energii elektrycznej w końcowym zużyciu energii wzrośnie z 20% w 2020 r. do 50% w 2050 r.

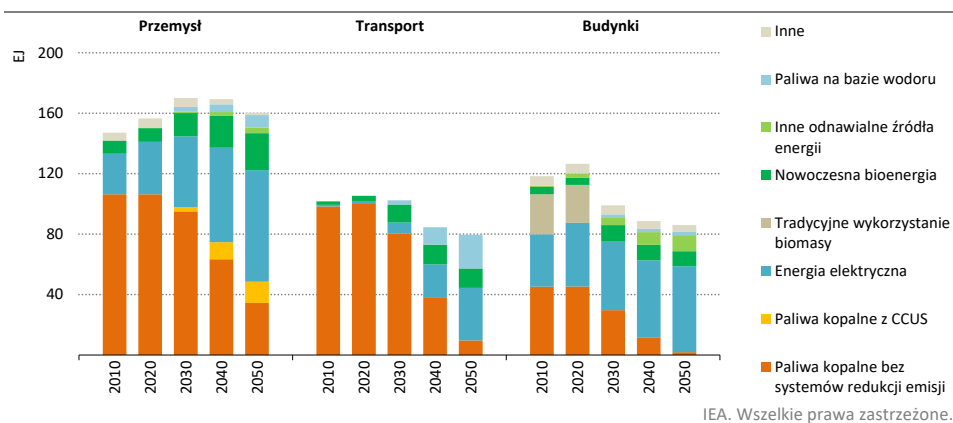
Wyjaśnienie: Paliwa na bazie wodoru obejmują wodór, amoniak i paliwa syntetyczne.

W transporcie na całym świecie ma miejsce szybkie odchodzenie od ropy naftowej, która w 2020 r. odpowiadała ponad 90% zużywanego paliwa. Energia elektryczna zdominuje sektor transportu drogowego, odpowiadając za ponad 60% zużycia energii w 2050 r., natomiast wodór i paliwa na bazie wodoru będą odgrywać mniejszą rolę, głównie w napędach dużych samochodów ciężarowych jeżdżących na długich trasach. W transporcie morskim poprawa

efektywności energetycznej znacznie zmniejszy zapotrzebowanie na energię (zwłaszcza do 2030 r.), a zaawansowane biopaliwa i paliwa na bazie wodoru, takie jak amoniak, w coraz większym stopniu będą zastępować ropę naftową. W lotnictwie szybko wzrośnie wykorzystanie płynnych paliw syntetycznych i zaawansowanych biopaliw, a ich udział w całkowitym zapotrzebowaniu na energię wzrośnie z obecnego poziomu bliskiego zero do prawie 80% w 2050 r. Ogólnie rzecz biorąc, energia elektryczna stanie się dominującym paliwem w sektorze transportu na świecie na początku lat 2040-tych a w 2050 r. będzie odpowiadać za około 45% zużycia energii w tym sektorze (w porównaniu z 1,5% w 2020 r.). Wodór i paliwa na bazie wodoru odpowiadać będą za prawie 30% zużycia (praktycznie zero w 2020 r.), a bioenergia za kolejne 15% (około 4% w 2020 r.).

W budynkach elektryfikacja zastosowań końcowych, w tym ogrzewania, doprowadzi w latach 2020-2050 do wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną o około 35%: stanie się ona dominującym paliwem, osiągając w 2050 r. poziom 16 000 terawatogodzin (TWh) i odpowiadając za dwie trzecie całkowitego zużycia energii w sektorze budynków. Do 2050 r. dwie trzecie budynków mieszkalnych w gospodarkach rozwiniętych i około 40% budynków mieszkalnych na rynkach wschodzących i rozwijających się będzie wyposażonych w pompę ciepła. Systemy energetyczne montowane na miejscu oparte na odnawialnych źródłach energii, takie jak słoneczne podgrzewacze wody i kotły na biomasę, pokryją kolejną jedną czwartą końcowego zużycia energii w sektorze budynków w 2050 r. (w porównaniu z 6% w 2020 r.). Niskoemisyjne ogrzewanie komunalne i wodór odpowiadać będą za jedynie 7% zużycia energii, ale w niektórych regionach będą odgrywać znaczącą rolę.

Rysunek 2.10 ► Globalne końcowe zużycie energii według sektorów i paliw w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Nastąpi całkowita rezygnacja z wykorzystania paliw kopalnych bez systemów redukcji emisji na rzecz energii elektrycznej, odnawialnych źródeł energii, wodoru i paliw na bazie wodoru, nowoczesnej bioenergii i CCUS w sektorach końcowego wykorzystania energii

Wyjaśnienie: Paliwa na bazie wodoru obejmują wodór, amoniak i paliwa syntetyczne.

Zużycie energii w budynkach spadnie w latach 2020-2030 o 25%, głównie w wyniku dużego nacisku na poprawę efektywności energetycznej i stopniowe wycofywanie tradycyjnego wykorzystania biomasy stałej do gotowania: zostanie ona zastąpiona gazem płynnym (LPG), biogazem, kuchenkami elektrycznymi i ulepszonymi piecami wykorzystującymi bioenergię. Do 2030 r. zostanie zapewniony powszechny dostęp do energii elektrycznej, co spowoduje wzrost globalnego zapotrzebowania na energię elektryczną w 2030 r. o mniej niż 1%. Zużycie energii w sektorze budynków zmniejszy się w latach 2030-2050 o około 15% z uwagi na stałą poprawę efektywności energetycznej i elektryfikację. Do 2050 r. zużycie energii w budynkach będzie o 35% niższe niż w 2020 r. W scenariuszu NZE, działania w zakresie efektywności energetycznej – w tym poprawa izolacji przegród zewnętrznych budynków i zapewnienie tego, że wszystkie nowe urządzenia wprowadzane na rynek będą najbardziej efektywnymi energetycznie dostępnymi modelami – będą odgrywać kluczową rolę w ograniczaniu wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną. Bez tych działań zapotrzebowanie na energię elektryczną w budynkach byłoby w 2050 r. wyższe o około 10 000 TWh, czyli o około 70% wyższe niż wartość przewidziana w scenariuszu NZE.

U W A G A

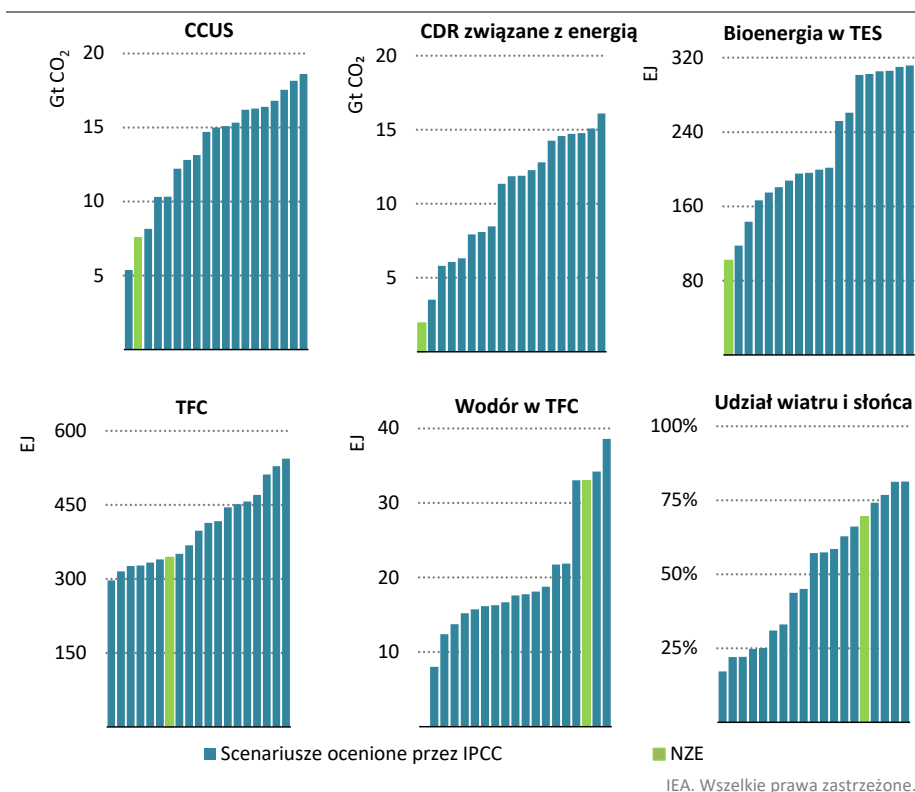
Jak scenariusz NZE wypada w porównaniu z podobnymi scenariuszami przewidującymi wzrost temperatury o 1,5 °C ocenianymi przez IPCC?

Raport IPCC SR1.5 zawiera 90 indywidualnych scenariuszy charakteryzujących się co najmniej 50% prawdopodobieństwem ograniczenia wzrostu temperatury w 2100 roku do 1,5 °C (IPCC, 2018).⁹ Tylko 18 z tych scenariuszy przewiduje zerowe emisje CO₂ netto w sektorze energetyki i procesach przemysłowych w 2050 r. Innymi słowy, tylko jeden na pięć scenariuszy przewidujących ograniczenie wzrostu temperatury do 1,5 °C ocenianych przez IPCC stawia tak samo ambitne cele w zakresie redukcji emisji dla sektorów energetyki i procesów przemysłowych do 2050 r. jak scenariusz NZE.¹⁰ Porównanie niektórych aspektów tych 18 scenariuszy i scenariusza NZE w 2050 r. (Rysunek 2.11):

⁹ Obejmuje to 53 scenariusze przewidujące brak przekroczenia temperatury lub ograniczone przekroczenie temperatury oraz 37 scenariuszy przewidujące większe przekroczenie temperatury.

¹⁰ Scenariusz niskiego zapotrzebowania na energię przewiduje około 4,5 Gt CO₂ emisji z sektora energetyki i procesów przemysłowych w 2050 r. i nie jest uwzględniony w tym porównaniu.

Rysunek 2.11 ▶ Porównanie wybranych wskaźników scenariuszy IPCC i scenariusza ZEN w 2050 r.



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Scenariusz NZE przewiduje najniższy poziom CDR związanego z energią i bioenergii spośród wszystkich scenariuszy, które przewidują osiągnięcie zerowego poziomu emisji CO₂ netto w sektorze energetyki i procesach przemysłowych w 2050 r.

Wyjaśnienie: CCUS = wychwytywanie, wykorzystywanie i składowanie dwutlenku węgla; CDR = bezpośrednie usuwanie dwutlenku węgla; TES = całkowite zaopatrzenie w energię; TFC = całkowite zużycie końcowe. CDR związane z energią obejmuje wychwytywanie CO₂ poprzez bioenergię przy pomocy systemów CCUS i bezpośrednie wychwytywanie go z powietrza przy pomocy systemów CCUS oraz jego stałe składowanie. Udział energii wiatrowej i słonecznej jest podany jako procent całkowitej produkcji energii elektrycznej. Tylko 17 z 18 scenariuszy ocenionych przez IPCC zawiera informacje na temat wykorzystania wodoru w TFC.

- **Wykorzystanie systemów CCUS.** Scenariusze ocenione przez IPCC zakładają medianę CO₂ wychwyconego przy użyciu CCUS w 2050 r. wynoszącą około 15 Gt, czyli ponad dwukrotnie więcej niż scenariusz NZE.
- **Zastosowanie CDR.** Emisje CO₂ wychwytywane i składowane przy pomocy systemów BECCS i DACCS w scenariuszach IPCC wynoszą w 2050 r. od 3,5 do 16 Gt CO₂, w porównaniu z 1,9 Gt CO₂ w scenariuszu NZE.

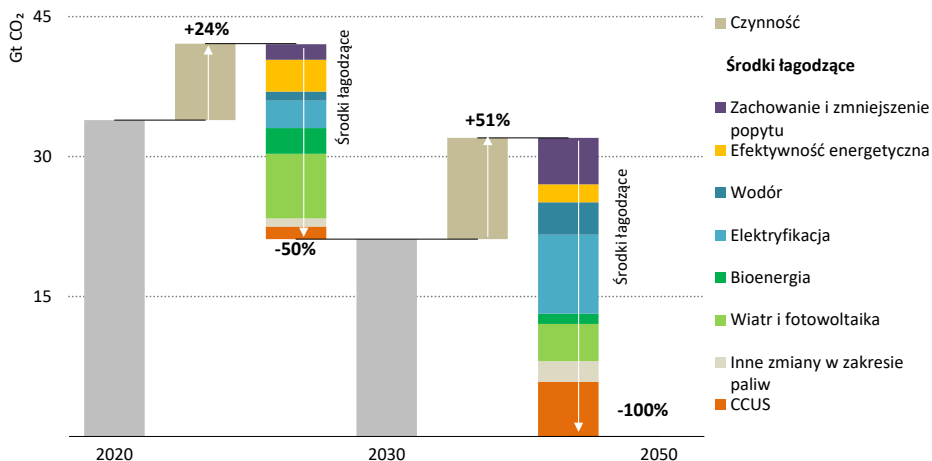
- **Bioenergia.** W scenariuszach IPCC w 2050 r. zużywane będzie średnio 200 EJ bioenergii pierwotnej (w porównaniu z 63 EJ obecnie), a w niektórych wartość ta wynosi ponad 300 EJ. Scenariusz NZE przewiduje zużycie w 2050 r. 100 EJ bioenergii pierwotnej.
- **Efektywność energetyczna.** Całkowite zużycie końcowe energii w 2050 r. w scenariuszach IPCC wynosi od 300 do 550 EJ (w porównaniu z około 410 EJ w 2020 r.). Zużycie końcowe energii w 2050 r. w scenariuszu NZE wynosi 340 EJ.
- **Wodór.** Scenariusze IPCC przewidują medianę 18 EJ wodoru w całkowitym zużyciu końcowym energii w 2050 r., w porównaniu z 33 EJ w scenariuszu NZE.¹¹
- **Wytwarzanie energii elektrycznej.** Udział energii wiatrowej i fotowoltaicznej w całkowitej produkcji energii elektrycznej w 2050 r. w scenariuszach IPCC waha się w granicach 15-80%, przy czym mediana wynosi 50%. W scenariuszu NZE, energia wiatrowa i fotowoltaiczna odpowiadają za 70% całkowitej produkcji energii w 2050 r.

2.5 Kluczowe filary dekarbonizacji

Osiągnięcie szybkiej redukcji emisji CO₂ w ciągu najbliższych 30 lat w scenariuszu NZE wymaga wdrożenia szerokiego zakresu polityk i technologii (Rysunek 2.12). Kluczowymi filarami dekarbonizacji światowego systemu energetycznego są efektywność energetyczna, zmiany zachowań, elektryfikacja, odnawialne źródła energii, wodór i paliwa na bazie wodoru, bioenergia oraz systemy CCUS.

¹¹ Wartość przewidziana w scenariuszu NZE dla wodoru obejmuje całkowitą zawartość energii w wodorze i paliwach na bazie wodoru ujętych w końcowym zużyciu energii.

Rysunek 2.12 ▶ Redukcje emisji według środków łagodzących w scenariuszu NZE, 2020-2050



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

W scenariuszu NZE fotowoltaika, energia wiatrowa i efektywność energetyczna zapewnią około połowy redukcji emisji do 2030 r., natomiast rola elektryfikacji, systemów CCUS i wodoru wzrośnie w późniejszym okresie

Wyjaśnienie: Działalność = zmiany w zapotrzebowaniu na usługi energetyczne wynikające z rozwoju gospodarczego i wzrostu liczby ludności.

Zachowanie = zmiany w zapotrzebowaniu na usługi energetyczne wynikające z decyzji użytkownika, np. zmiana temperatury ogrzewania.

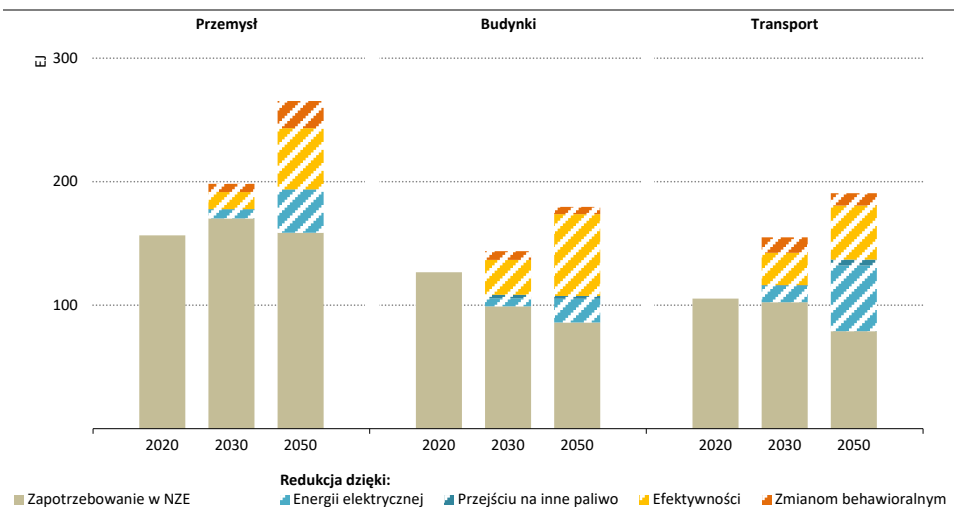
Zmniejszenie zapotrzebowania = zmiany w zapotrzebowaniu na usługi energetyczne wynikające z rozwoju technologii, np. cyfryzacji.

Inne zmiany w zakresie paliw = przejście z węgla i ropy naftowej na gaz ziemny, energię jądrową, wodną, geotermalną, zogniskowaną energię słoneczną lub energię morską.

2.5.1 Efektywność energetyczna

W scenariuszu NZE zminimalizowanie wzrostu zapotrzebowania na energię poprzez poprawę efektywności energetycznej stanowi kluczowy element. Wiele działań w zakresie efektywności energetycznej w przemyśle, budynkach, urządzeniach i transporcie można bardzo szybko wdrożyć i zwiększyć ich skalę. W związku z tym działania na rzecz efektywności energetycznej są w scenariuszu NZE realizowane w pierwszej kolejności i odgrywają największą rolę w ograniczaniu zapotrzebowania na energię i emisji w okresie do 2030 r. Choć efektywność energetyczna ulegnie dalszej poprawie po 2030 r., jej udział w ogólnym ograniczeniu emisji spadnie, ponieważ inne środki łagodzące będą odgrywać coraz większą rolę. Bez działań na rzecz efektywności energetycznej, zmian zachowań i elektryfikacji wdrożonych w scenariuszu NZE, końcowe zużycie energii w 2050 roku byłoby o około 300 EJ wyższe, czyli byłoby prawie o 90% wyższe niż poziom z 2050 r. przewidziany w scenariuszu NZE (Rysunek 2.13). Poprawa efektywności energetycznej pomaga również w zmniejszeniu wrażliwości przedsiębiorstw i konsumentów na potencjalne zakłócenia w dostawach energii elektrycznej.

Rysunek 2.13 ▸ Całkowite zużycie końcowe i popyt zredukowany dzięki zastosowaniu środków łagodzących przewidzianych w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Efektywność energetyczna odgrywa kluczową rolę w zmniejszaniu zużycia energii we wszystkich sektorach końcowego zużycia energii

Wyjaśnienie: Przejście na inne paliwo obejmuje przejście na paliwa na bazie wodoru, bioenergię, energię słoneczną, energię geotermalną lub ciepło z sieci ciepłowniczej.

W sektorze budynków wiele działań na rzecz efektywności energetycznej przynosi oszczędności finansowe, a także zmniejsza zużycie energii i emisje. W scenariuszu NZE następuje natychmiastowa i szybka poprawa efektywności energetycznej budynków, głównie dzięki zakrojonym na szeroką skalę programom modernizacji. W scenariuszu NZE, do 2050 r. około 2,5% istniejących budynków mieszkalnych w gospodarkach rozwiniętych będzie corocznie modernizowanych w celu spełnienia norm dla budynków przystosowanych do zerowej emisji¹² (w porównaniu z obecnym wskaźnikiem modernizacji wynoszącym mniej niż 1%). Na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się wskaźniki wymiany budynków będą wyższe, a roczne tempo modernizacji do 2050 r. wyniesie około 2%. Do 2050 r. zdecydowana większość istniejących budynków mieszkalnych zostanie zmodernizowana do standardu budynków o zerowej emisji dwutlenku węgla. Do 2030 r. we wszystkich regionach zostaną wprowadzone przepisy budowlane związane z energią, aby zagwarantować przystosowanie praktycznie wszystkich nowo powstających budynków do zerowej emisji dwutlenku węgla. W 2020 r. we wszystkich krajach zostaną wprowadzone lub

¹² Budynek przystosowany do zerowej emisji dwutlenku węgla jest wysoce energooszczędny i albo bezpośrednio wykorzystuje energię odnawialną, albo korzysta z dostaw energii, które zgodnie ze scenariuszem ZEN do 2050 r. zostaną całkowicie zdekarbonizowane (takich jak dostawy energii elektrycznej lub ciepła z sieci miejskich). Budynek przystosowany do zerowej emisji dwutlenku węgla stanie się budynkiem zeroemisyjnym do roku 2050, bez dalszych zmian w budynku lub jego wyposażeniu (zob. Rozdział 3).

zaostrzone minimalne normy charakterystyki energetycznej i programy wymiany urządzeń o niskiej efektywności energetycznej. W połowie lat 2030., prawie wszystkie urządzenia gospodarstwa domowego sprzedawane na świecie będą tak efektywne jak najbardziej efektywne modele dostępne obecnie.

W sektorze transportu rygorystyczne normy zużycia paliwa oraz wprowadzenie od 2035 r. na całym świecie zakazu sprzedaży nowych samochodów osobowych napędzanych silnikami spalinowymi (ICE), spowodują gwałtowne przesunięcie sprzedaży pojazdów w kierunku znacznie bardziej sprawnych pojazdów elektrycznych (EV).¹³ Wpływ na efektywność energetyczną będzie widoczny w latach 2030., ponieważ zmieni się skład parku samochodowego: samochody elektryczne stanowiąc będą 20% wszystkich samochodów na drogach w 2030 r. i 60 % w 2040 r. (w porównaniu z 1% obecnie). Do 2050 r. będzie następować ciągła poprawa w zakresie zużycia paliwa przez ciężkie pojazdy drogowe, ponieważ przejdą one na energię elektryczną lub ogniwa paliwowe, natomiast efektywność energetyczna w transporcie morskim i lotnictwie poprawi się, ponieważ istniejące pojazdy zostaną zastąpione przez bardziej wydajne samoloty i statki.

W sektorze przemysłowym większość zasobów produkcyjnych jest już dość sprawna, ale nadal istnieją możliwości poprawy efektywności energetycznej. W ramach scenariusza ZEN, do 2030 r. będą instalowane systemy zarządzania energią, najlepsze w swojej klasie urządzenia przemysłowe, takie jak silniki elektryczne, napędy o zmiennej prędkości, grzejniki i szlifierki, a opcje integracji procesów, takie jak odzysk ciepła odpadowego, będą wykorzystywane zgodnie z ich maksymalnym potencjałem ekonomicznym. Po 2030 r. w scenariuszu NZE tempo poprawy efektywności energetycznej spadnie, ponieważ wiele technologii potrzebnych do ograniczenia emisji w przemyśle wymaga więcej energii niż odpowiadające im technologie konwencjonalne. Na przykład zastosowanie systemu CCUS zwiększa zużycie energii do obsługi urządzeń wychwytyjących, a wytwarzanie wodoru elektrolitycznego na miejscu wymaga dodatkowej energii w stosunku do energii potrzebnej do głównego procesu produkcyjnego.

¹³ W 2020 r. przeciętny samochód elektryczny na akumulatory będzie potrzebował około 30% energii zużywanej przez przeciętny samochód z silnikiem spalinowym dla zapewnienia tego samego poziomu aktywności.

Tabela 2.3 ► Kluczowe globalne etapy zwiększania efektywności energetycznej w scenariuszu NZE

Sektor	2020	2030	2050
Całkowita podaż energii	<i>2010-2020</i>	<i>2020-2030</i>	<i>2030-2050</i>
Roczna poprawa energochłonności (MJ na USD PKB)	-1,6%	-4,2%	-2,7%
Przemysł			
Energochłonność bezpośredniej redukcji rud z gazu ziemnego (GJ na tonę)	12	11	10
Energochłonność procesu produkcji podstawowych chemikaliów (GJ na tonę)	17	16	15
Transport			
Średnie zużycie paliwa przez flotę dużych samochodów ciężarowych z ICE (wskaźnik 2020 = 100)	100	81	63
Budynki			
Udział budynków przystosowanych do zerowej emisji dwutlenku węgla w całkowitych zasobach	<1%	25%	>85%
Nowe budynki: zużycie energii do ogrzewania i chłodzenia (wskaźnik 2020=100)	100	50	20
Urządzenia: jednostkowe zużycie energii (wskaźnik 2020=100)	100	75	60

Wyjaśnienie: ICE = silnik spalinowy; budynki przystosowane do zerowej emisji dwutlenku węgla = patrz opis w punkcie 3.7.

2.5.2 Zmiana zachowań

Kompleksowa transformacja sektora energii przedstawiona w scenariuszu NZE nie może zostać osiągnięta bez aktywnego i dobrowolnego udziału obywateli. Ostatecznie to ludzie napędzają popyt na towary i usługi związane z energią, a normy społeczne i osobiste wybory odegrają kluczową rolę w nakierowaniu systemu energetycznego na ścieżkę zrównoważonego rozwoju. Jedynie nieco poniżej 40% redukcji emisji w scenariuszu NZE wynika z przyjęcia technologii niskoemisyjnych, które potrzebują ogromnego wsparcia politycznego i znacznych inwestycji, ale niewielkiego bezpośredniego zaangażowania obywateli lub konsumentów, np. technologii wytwarzania energii elektrycznej lub produkcji stali. Dalsze zwiększenie do 55% redukcji emisji wymaga jednak połączenia wdrożenia technologii niskoemisyjnych oraz aktywnego udziału lub zaangażowania obywateli i konsumentów, np. zainstalowania kolektorów słonecznych do podgrzewania wody lub zakupu samochodu elektrycznego. Końcowe 8% redukcji emisji wynika ze zmian zachowań i wzrostu efektywności wykorzystania materiałów, które zmniejszą zapotrzebowanie na energię, np. mniejszej liczby lotów w celach służbowych (Rysunek 2.14). Postawy konsumentów mogą również wpływać na decyzje inwestycyjne przedsiębiorstw, którym zależy na wizerunku i publicznym odbiorze.

W scenariuszu NZE zmiana postaw oznacza zmianę zwyczajów lub powtarzalnych zachowań konsumentów, które mają wpływ na zapotrzebowanie na usługi energetyczne lub

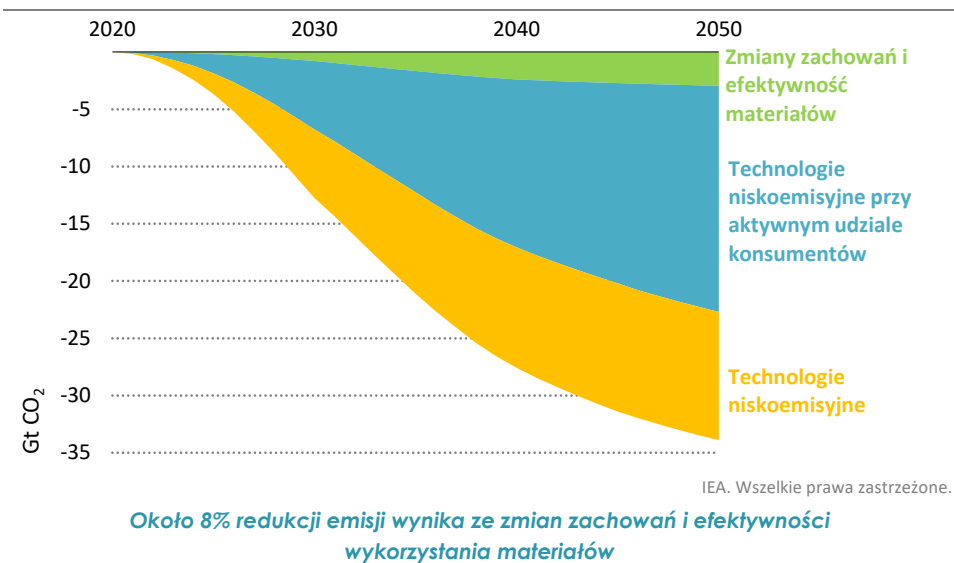
energochłonność działalności związanej z zapotrzebowaniem na energię.¹⁴ Redukcje zapotrzebowania na usługi energetyczne w scenariuszy NZE wynikają również z postępu technologicznego, ale nie są one zaliczane do zmian zachowania. Na przykład zwiększona cyfryzacja i rosnący udział w rynku inteligentnych urządzeń, takich jak inteligentne termostaty lub termoregulatory pozwalające na strefowe różnicowanie temperatury w pomieszczeniach, z czasem zmniejszą w scenariuszu NZE konieczność aktywnego uczestnictwa ludzi w oszczędzaniu energii w domach.

W scenariuszu NZE uwzględniono trzy główne rodzaje zmian zachowań. Do motywowania do tych zmian można wykorzystać szeroki zakres interwencji rządowych (zob. punkt 2.7.1).

- **Zmniejszenie nadmiernego lub nieefektywnego zużycia energii.** Obejmuje to zmniejszenie zużycia energii w budynkach i na drogach, np. poprzez obniżenie ustawień temperatury w pomieszczeniach, wdrożenie praktyk sprzyjających oszczędzaniu energii w domach oraz ograniczenie prędkości jazdy na autostradach do 100 kilometrów na godzinę.
- **Zmiana środków transportu.** Obejmuje to przejście na jazdę na rowerze, przemieszczanie się pieszo, wspólne przejazdy lub korzystanie z autobusów podczas podróży w miastach zamiast korzystania z samochodu, jak również zastąpienie regionalnych podróży lotniczych szybką koleją w regionach, w których jest to wykonalne. Wiele z tych rodzajów zmian zachowania oznaczałoby także istotną zmianę stylu życia, który znamy lub do którego przywykliśmy, i jako taka wymagałaby pewnego stopnia społecznej akceptacji, a nawet entuzjazmu. Wiele z nich wymagałoby również nowej infrastruktury, takiej jak ścieżki rowerowe i sieci szybkich kolei, wyraźnego wsparcia politycznego oraz wysokiej jakości planowania przestrzennego.
- **Wzrost efektywności wykorzystania materiałów.** Obejmuje to zmniejszone zapotrzebowanie na materiały, np. wyższy poziom recyklingu, oraz lepsze projektowanie i wykonywanie budynków oraz produkcja pojazdów. Zakres korzyści w pewnym stopniu odzwierciedla preferencje społeczne. Na przykład w niektórych miejscach w ostatnich latach nastąpiło odejście od stosowania tworzyw sztucznych jednorazowego użytku, a w scenariuszu NZE trend ten nasila się. Wzrost efektywności wykorzystania materiałów zależy od połączenia działań w zakresie innowacji technicznych w procesach wytwarzania i budownictwa, norm i przepisów wspierających najlepsze praktyki i zapewniających powszechne przyjęcie tych innowacji, a także od zwiększenia stopnia recyklingu w całym społeczeństwie.

¹⁴ Oznacza to na przykład, że zakup elektrycznej pompy ciepła zamiast kotła gazowego nie jest uważany za zmianę zachowania, ponieważ zarówno jest to zdarzenie rzadkie, jak i niekoniecznie wpływa na zapotrzebowanie na usługi energetyczne.

Rysunek 2.14 ► Rola technologii i zmiany zachowań w redukcji emisji w scenariuszu NZE



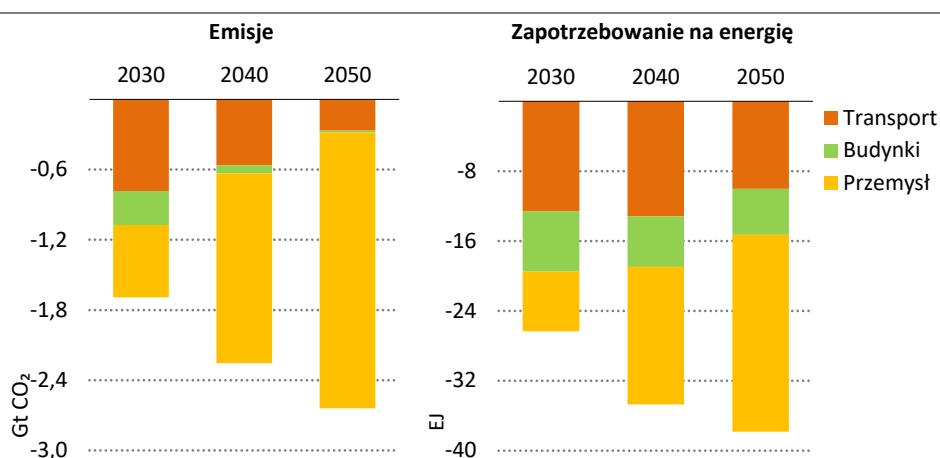
Wyjaśnienie: Technologie niskoemisyjne obejmują niskoemisyjne wytwarzanie energii elektrycznej, niskoemisyjne gazy w zastosowaniach końcowych i biopaliwa. Technologie niskoemisyjne stosowane przy aktywnym udziale konsumentów obejmują przechodzenie na inne paliwa, elektryfikację i wzrost efektywności energetycznej w zastosowaniach końcowych. Zmiany zachowań i materiały obejmują zmianę środka transportu, ograniczenie nadmiernego lub nieefektywnego zużycia energii oraz działania w zakresie efektywnego wykorzystania materiałów.

Trzy czwarte redukcji emisji wynikających ze zmian zachowań w scenariuszu NZE jest możliwe dzięki ukierunkowanej polityce rządowej wspieranej przez rozwój infrastruktury, np. przejście na podróż koleją przy wsparciu kolei dużych prędkości. Pozostała część pochodzi z dobrowolnych zmian nawyków w zakresie oszczędzania energii, głównie w domach. Nawet w tym przypadku społeczne kampanie uświadamiające mogą pomóc w kształtowaniu codziennych wyborów dotyczących sposobu wykorzystania energii przez konsumentów. (Szczegóły na temat tego, co mogą zrobić rządy, aby pomóc we wprowadzeniu zmian zachowań zostały omówione w rozdziale 4).

W scenariuszu NZE, do 2050 r. zmiany zachowań ograniczą aktywność związaną z energią średnio o około 10-15%, zmniejszając całkowite globalne zapotrzebowanie na energię o ponad 37 EJ w 2050 roku (Rysunek 2.15). W 2030 r. pozwoli to na uniknięcie emisji około 1,7 Gt CO₂, z czego 45% w sektorze transportu, w szczególności dzięki działaniom mającym na celu stopniowe wycofywanie stosowania samochodów z miast i zwiększenie oszczędności dot. wykorzystania paliwa. Na przykład ograniczenie prędkości na autostradach do 100 km/h zmniejszy emisje z transportu drogowego o 3%, co przełoży się na 140 Mt CO w 2030 r. Zmiana polegająca na odejściu od korzystania z samochodów przez jedną osobę na rzecz korzystania z wspólnych przejazdów lub jazdy na rowerze i przemieszczania się pieszo w

dużych miastach pozwoli obniżyć emisje o kolejne 185 Mt CO₂. Około 40% redukcji emisji w 2030 r. będzie przypadać na przemysł ze względu na poprawę efektywności wykorzystania materiałów i zwiększony poziom recyklingu, przy czym największy wpływ będzie mieć ograniczenie ilości odpadów oraz poprawa projektowania i wykonywania budynków. Pozostałe oszczędności emisji w 2030 r. będą wynikać ze zmian zachowań w budynkach, np. regulacji temperatury ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń.

Rysunek 2.15 ▶ Redukcja emisji CO₂ i zapotrzebowania na energię dzięki zmianom zachowań i efektywności wykorzystania materiałów w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Do 2030 r. zmiany zachowań i wzrost efektywności wykorzystania materiałów pozwolą ograniczyć emisje o 1,7 Gt CO₂, a zapotrzebowanie na energię o 27 EJ; redukcje te będą dalej rosły do 2050 r.

W 2050 r. rosnące znaczenie niskoemisyjnej energii elektrycznej i paliw w transporcie i budynkach będzie oznaczać, że 90% redukcji emisji będzie przypadać na przemysł, głównie sektory, w których bezpośrednie działania w celu redukcji emisji są najtrudniejsze. Sama efektywność wykorzystania materiałów zmniejszy zapotrzebowanie na cement i stal o 20%, co pozwoli zredukować emisje o ok. 1 700 Mt CO₂. Prawie 80% redukcji emisji w transporcie w 2050 r. będzie wynikiem działań mających na celu ograniczenie popytu na loty pasażerskie, a pozostała część wynikiem zmian w transporcie drogowym.

Zakres, skala i tempo wprowadzania zmian zachowań w scenariuszu NZE różnią się znacznie w poszczególnych regionach, w zależności od kilku czynników, w tym zdolności istniejącej infrastruktury do wspierania takich zmian oraz różnic geograficznych, klimatycznych, urbanistycznych, jak również norm społecznych i wartości kulturowych. Na przykład w regionach o wysokim poziomie korzystania z samochodów prywatnych obecnie obserwuje się wyraźniejsze niż w innych regionach przejście na transport publiczny, wspólne użytkowanie samochodów, przemieszczanie się pieszo i jazdę na rowerze; zakłada się

zastąpienie podróży lotniczych szybką koleją na istniejących lub potencjalnych trasach w przypadku, gdy pociągi będą mogły zapewnić podobny czas podróży, natomiast potencjał bardziej racjonalnego wykorzystania klimatyzacji w budynkach i pojazdach uwzględnia efekty sezonowe i wilgotność powietrza. Bogatsze regiony mają zazwyczaj wyższy poziom aktywności związanej z energią w przeliczeniu na mieszkańca, a zmiany zachowań odgrywają w tych regionach szczególnie ważną rolę w ograniczaniu nadmiernego lub marnotrawnego zużycia energii.

Większość zmian zachowań w scenariuszu NZE miałyby jakiś wpływ na codzienne życie prawie każdego człowieka, ale żadna z nich nie stanowi radykalnego odejścia od praktyk ograniczających zużycie energii, które są już obecnie stosowane w wielu częściach świata. Na przykład w Japonii dzięki kampanii uświadamiającej udało się zmniejszyć zapotrzebowanie na chłodzenie w stopniu odpowiadającym redukcji zakładanej w wielu regionach w ramach scenariusza ZEN do 2040 r.; w wielu dużych miastach wprowadzono przepisy ograniczające korzystanie z samochodów w mieście, a w Wielkiej Brytanii i Hiszpanii przetestowano ograniczenie prędkości do około 100 km/h (poziom przyjęty na całym świecie w scenariuszu NZE do 2030 r.) w celu zmniejszenia zanieczyszczenia powietrza i poprawy bezpieczeństwa.

Tabela 2.4 ► Kluczowe globalne etapy w zakresie zmiany zachowań w scenariuszu NZE

Sektor	Rok	Etap
Przemysł	2020	• Średni światowy wskaźnik zbiórki tworzyw sztucznych = 17%.
	2030	• Średni światowy wskaźnik zbiórki tworzyw sztucznych = 27%. • Obniżenie masy przeciętnego samochodu osobowego o 10%.
	2050	• Średni światowy wskaźnik zbiórki tworzyw sztucznych = 54%. • Efektywność wykorzystania nawozów zwiększona o 10%.
Transport	2030	• Ekojazda i ograniczenie prędkości na autostradach do 100 km/h. • Stopniowe wprowadzanie zakazu wjazdu samochodów z ICE do dużych miast.
	2050	• Loty regionalne są zastępowane przez szybką koleją, tam gdzie jest to możliwe. • Służbowe i rekreacyjne loty samolotami na długich trasach nie przekraczają poziomów z 2019 r.
Budynki	2030	• Temperatury ogrzewania pomieszczeń obniżone średnio do 19-20 °C. • Temperatury chłodzenia pomieszczeń zwiększone średnio do 24-25 °C. • Zmniejszenie nadmiernej temperatury ciepłej wody.
	2050	• Zużycie materiałów energochłonnych na jednostkę powierzchni zmniejszone o 30%. • Żywotność budynków wydłużona średnio o 20%.

Wyjaśnienie: Ekojazda obejmuje zatrzymywanie się i ruszanie pojazdu z wyprzedzeniem; ICE = silnik spalinowy.

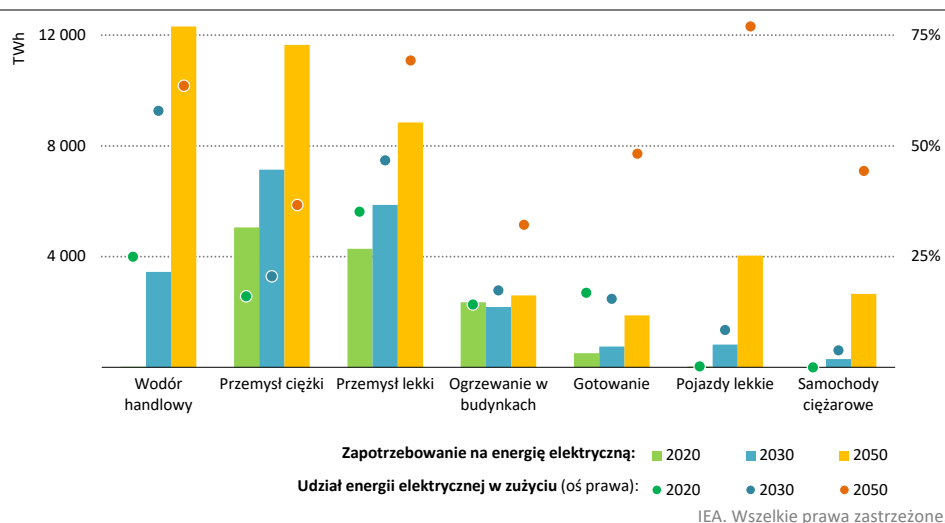
2.5.3 Elektryfikacja

2

Bezpośrednie wykorzystanie niskoemisyjnej energii elektrycznej zamiast paliw kopalnych jest jednym z najważniejszych czynników wpływających na redukcję emisji w scenariuszu NZE, odpowiadającym za około 20% całkowitej redukcji osiągniętej do 2050 r. Globalne zapotrzebowanie na energię elektryczną wzrośnie w latach 2020-2050 ponad dwukrotnie, przy czym największy bezwzględny wzrost zużycia energii elektrycznej w sektorach końcowego wykorzystania energii nastąpi w przemyśle, w którym w latach 2020-2050 odnotowany zostanie wzrost o ponad 11 000 TWh. W dużej mierze wynika to z rosnącego wykorzystania energii elektrycznej do produkcji ciepła w warunkach niskich i średnich temperatur oraz do produkcji stali ze złomu (Rysunek 2.16.).

W scenariuszu NZE, w transporcie udział energii elektrycznej wzrośnie z poniżej 2% w 2020 r. do około 45% w 2050 r.. Do 2030 r. ponad 60 proc. wszystkich samochodów osobowych sprzedawanych na świecie będzie pojazdami elektrycznymi (w porównaniu z 5% w 2020 r.), a do 2050 r. flota samochodowa na całym świecie zostanie niemal w pełni zelektryfikowana (pozostałą część stanowić będą samochody napędzane wodorem). Wzrost sprzedaży elektrycznych samochodów osobowych na świecie w ciągu najbliższych dziesięciu lat będzie ponad dwudziestokrotnie wyższy niż wzrost sprzedaży samochodów z silnikiem spalinowym w ciągu ostatniej dekady. Elektryfikacja samochodów ciężarowych będzie przebiega wolniej, ponieważ zależy ona od akumulatorów o większej gęstości niż obecnie dostępne na rynku, zwłaszcza w przypadku samochodów ciężarowych użytkowanych na długich trasach, jak również od nowej infrastruktury ładowania o dużej mocy: mimo to do 2030 r. samochody ciężarowe z napędem elektrycznym będą odpowiadać za około 25% całkowitej sprzedaży samochodów ciężarowych na świecie, a w 2050 r. – za około dwie trzecie. Elektryfikacja transportu morskiego i lotnictwa będzie znacznie bardziej ograniczona i rozpocznie się dopiero po znacznej poprawie gęstości energii w akumulatorach (zob. punkt 3.6) (Rysunek 2.17). W scenariuszu NZE zapotrzebowanie na akumulatory dla sektora transportu osiągnie w 2050 r. wartość około 14 TWh, czyli 90-krotnie więcej niż w 2020 r. Wzrost zapotrzebowania na akumulatory przełoży się na rosnące zapotrzebowanie na minerały o strategicznym znaczeniu. Na przykład popyt na lit wykorzystywany w akumulatorach wzrośnie do 2030 r. 30-krotnie, a w 2050 r. będzie ponad 100-krotnie wyższy niż w 2020 r. (IEA, 2021).

Rysunek 2.16 ▶ Globalne zapotrzebowanie na energię elektryczną oraz udział energii elektrycznej w zużyciu energii w wybranych zastosowaniach w scenariuszu NZE



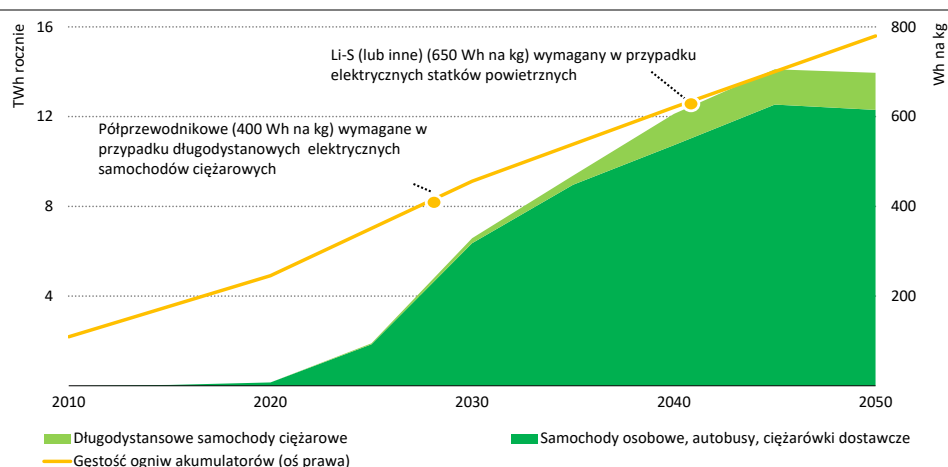
Globalne zapotrzebowanie na energię elektryczną wzrośnie w okresie do 2050 r. ponad dwukrotnie, przy czym największy wzrost nastąpi w produkcji wodoru i w przemyśle

Wyjaśnienie: Wodór handlowy = wodór produkowany przez jedno przedsiębiorstwo w celu sprzedaży innym przedsiębiorstwom. Pojazdy lekkie = samochody osobowe i dostawcze. Samochody ciężarowe = średnie samochody ciężarowe i duże samochody ciężarowe.

W budynkach zapotrzebowanie na energię elektryczną w scenariuszu NZE będzie łagodzone dzięki ogromnemu wysiłkowi na rzecz poprawy efektywności urządzeń, chłodzenia, oświetlenia i izolacji przegród zewnętrznych budynków. Jednak duży wzrost aktywności, wraz z powszechną elektryfikacją ogrzewania poprzez zastosowanie pomp ciepła, oznacza, że zapotrzebowanie na energię elektryczną w budynkach nadal będzie ciągle rosnąć w tym okresie, osiągając w 2050 r. 66% całkowitego zużycia energii w budynkach.

Wraz ze wzrostem bezpośredniego zużycia energii elektrycznej w sektorach końcowego wykorzystania energii, obserwowany będzie również ogromny wzrost wykorzystania energii elektrycznej do produkcji wodoru. W scenariuszu NZE, wodór handlowy produkowany w procesie elektrolizy wymagać będzie w 2050 r. około 12 000 TWh, co jest wartością większą niż obecne całkowite roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną w Chinach i Stanach Zjednoczonych łącznie.

Rysunek 2.17 ▶ Wzrost zapotrzebowania na energię z akumulatorów w transporcie i gęstość energii w akumulatorach w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

W scenariuszu NZE, do 2030 r. każdego roku otwieranych będzie blisko 20 giga-fabryk akumulatorów, aby zaspokoić zapotrzebowanie na akumulatory do samochodów elektrycznych; do elektryfikacji samochodów ciężarowych użytkowanych na długich trasach potrzebne są akumulatory o większej gęstości

Wyjaśnienie: Li-S = akumulator litowo-siarkowy; Wh na kg = watogodziny na kilogram.

Przyspieszenie wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną z 2% rocznie w ciągu ostatniej dekady do 3% rocznie do 2050 r., wraz ze znacznie zwiększonym udziałem zmiennej produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, oznacza, że roczne inwestycje w sektorze elektroenergetycznym w scenariuszu NZE są średnio trzykrotnie wyższe niż w ostatnich latach. Wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną wymaga również podjęcia szeroko zakrojonych działań w celu zapewnienia stabilności i elastyczności dostaw energii elektrycznej poprzez zarządzanie popytem, eksploatację elastycznych niskoemisyjnych źródeł wytwarzania, w tym źródeł hydroenergetycznych i bazujących na bioenergii, oraz magazynowanie energii w akumulatorach.

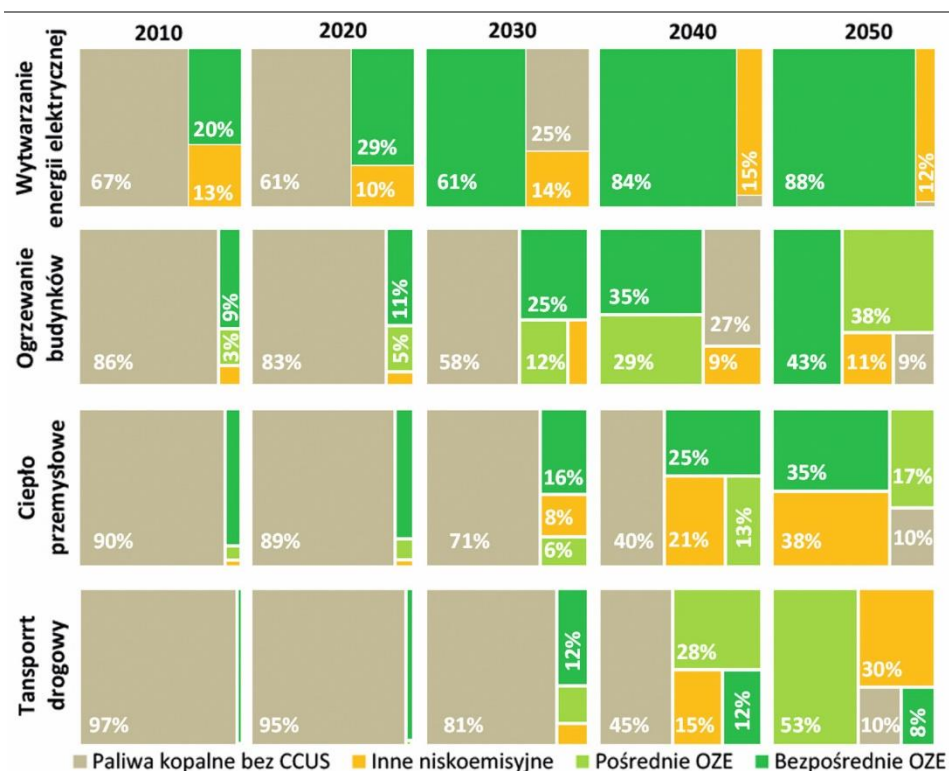
Tabela 2.5 ► Kluczowe globalne etapy elektryfikacji w scenariuszu NZE

Sektor	2020	2030	2050
Udział energii elektrycznej w końcowym zużyciu ogółem	20%	26%	49%
Przemysł			
Udział produkcji stali z wykorzystaniem pieca łukowego	24%	37%	53%
Udział energii elektrycznej w przemyśle lekkim	43%	53%	76%
Transport			
Udział pojazdów elektrycznych w parku pojazdów:			
samochody osobowe	1%	20%	86%
pojazdy dwu- i trzykołowe	26%	54%	100%
autobusy	2%	23%	79%
samochody dostawcze	0%	22%	84%
samochody ciężarowe	0%	8%	59%
Roczne zapotrzebowanie na akumulatory do pojazdów elektrycznych (TWh)	0,16	6,6	14
Budynki			
Zainstalowane pompy ciepła (mln)	180	600	1 800
Udział pomp ciepła w zapotrzebowaniu na energię do ogrzewania	7%	20%	55%
Miliony ludzi bez dostępu do elektryczności	786	0	0

2.5.4 Odnawialne źródła energii

Na poziomie globalnym technologie energii odnawialnej są kluczem do zmniejszenia emisji związanych z dostawami energii elektrycznej. Energia wodna od wielu dziesięcioleci jest wiodącym źródłem niskoemisyjnym, ale w scenariuszu NZE to głównie ekspansja energii wiatrowej i fotowoltaicznej przyczyni się do potrojenia produkcji energii ze źródeł odnawialnych do 2030 r. i zwiększy ją ponad ośmiokrotnie do 2050 r. Udział źródeł odnawialnych w całkowitej produkcji energii elektrycznej na świecie wzrośnie z 29% w 2020 r. do ponad 60% w 2030 r. i do prawie 90% w 2050 r. (Rysunek 2.18.). Aby to osiągnąć, roczne przyrosty mocy elektrowni wiatrowych i fotowoltaicznych w latach 2020-2050 muszą być pięciokrotnie wyższe niż średnia z ostatnich trzech lat. Dyspozycyjne odnawialne źródła energii mają zasadnicze znaczenie dla utrzymania bezpieczeństwa energetycznego, wraz z innymi rodzajami niskoemisyjnej produkcji, magazynowaniem energii i wytrzymałymi sieciami elektroenergetycznymi. W scenariuszu NZE najważniejszymi dyspozycyjnymi odnawialnymi źródłami energii na świecie w 2050 r. będą energia wodna (12% produkcji), bioenergia (5%), systemy ogniskujące energię słoneczną (2%) i energia geotermalna (1%).

Rysunek 2.18 ▶ Udział paliw w całkowitym zużyciu energii w wybranych zastosowaniach w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Odnawialne źródła energii mają zasadnicze znaczenie dla redukcji emisji w sektorze energii elektrycznej i w znacznym stopniu przyczyniają się do redukcji emisji w budynkach, przemyśle i transporcie, zarówno bezpośrednio, jak i pośrednio

Wyjaśnienie: Pośrednie odnawialne źródła energii = wykorzystanie energii elektrycznej i ciepła wytwarzanych przez odnawialne źródła energii. Inne źródła niskoemisyjne = energia jądrowa, obiekty wyposażone w systemy CCUS oraz niskoemisyjny wodór i paliwa na bazie wodoru.

Odnawialne źródła energii odgrywają również ważną rolę w ograniczaniu emisji w budynkach, przemyśle i transporcie. Źródła odnawialne mogą być wykorzystywane albo pośrednio, poprzez wykorzystanie wytwarzanej przez nie energii elektrycznej lub ciepła, albo bezpośrednio, głównie do produkcji ciepła.

W transporcie odnawialne źródła energii odgrywają ważną pośrednią rolę w ograniczaniu emisji poprzez wytwarzanie energii elektrycznej do zasilania pojazdów elektrycznych. Przyczyniają się one również do bezpośredniej redukcji emisji poprzez stosowanie biopaliw płynnych i biometanu.

W budynkach, energia odnawialna jest wykorzystywana głównie do ogrzewania wody i pomieszczeń. Bezpośrednie wykorzystanie energii odnawialnej wzrośnie z około 10% światowego zapotrzebowania na ogrzewanie w 2020 r. do 40% w 2050 r., przy czym około trzy czwarte tego wzrostu przypadają będzie na energię słoneczną i geotermalną. Głęboka modernizacja i przepisy budowlane związane z energią będą w miarę możliwości łączone z odnawialnymi źródłami energii: do 2050 r. prawie wszystkie budynki o dostępnej powierzchni dachu i wystarczającym nasłonecznieniu zostaną wyposażone w kolektory słoneczne do podgrzewania wody, ponieważ są one bardziej wydajne na metr kwadratowy niż fotowoltaika, a magazynowanie ciepła w zbiornikach wody jest zasadniczo bardziej opłacalne niż magazynowanie energii elektrycznej. Dachowe panele fotowoltaiczne wytwarzające odnawialną energię elektryczną na miejscu są obecnie zainstalowane na około 25 milionach dachów na całym świecie; liczba ta wzrośnie do 100 milionów dachów do roku 2030 i 240 milionów do roku 2050. Kolejne 15% zapotrzebowania na energię do ogrzewania budynków w 2030 r. pokryte będzie pośrednio ze źródeł odnawialnych w postaci energii elektrycznej, a w 2050 r. udział ten wzrośnie do prawie 40%.

W scenariuszu NZE, to bioenergia będzie najważniejszym bezpośrednim źródłem energii odnawialnej na potrzeby instalacji nisko- i średniotemperaturowych w przemyśle. Energia słoneczna i geotermalna będzie również wytwarzać ciepło niskotemperaturowe do wykorzystania w przemyśle nieenergochłonnym oraz w procesach pomocniczych lub na dalszych etapach przetwarzania w przemyśle ciężkim. Bioenergia, słoneczna energia cieplna i energia geotermalna będą zaspokajać łącznie około 15% zapotrzebowania przemysłu na ciepło w 2030 r., co stanowi mniej więcej dwukrotność ich udziału w 2010 r., a w 2050 r. udział ten wzrośnie do 40%. Pośrednie wykorzystanie energii odnawialnej za pośrednictwem energii elektrycznej zwiększy o 15% udział energii odnawialnej w całkowitym zużyciu energii w przemyśle w 2050 r.

Tabela 2.6 ► Główne etapy wdrażania odnawialnych źródeł energii

Sektor	2020	2030	2050
Sektor energii elektrycznej			
Udział odnawialnych źródeł energii w produkcji	29%	61%	88%
Roczny przyrost mocy (GW):			
Fotowoltaika ogółem	134	630	630
Wiatr ogółem	114	390	350
- z czego: Morska energia wiatrowa	5	80	70
Dyspozycyjne odnawialne źródła energii	31	120	90
Sektory zastosowań końcowych			
Udział odnawialnych źródeł energii w TFC	5%	12%	19%
Gospodarstwa domowe z instalacją fotowoltaiczną na dachu (mln)	25	100	240
Udział termicznej energii słonecznej i energii geotermalnej w budynkach	2%	5%	12%
Udział termicznej energii słonecznej i energii geotermalnej w końcowym zużyciu energii w przemyśle	0%	1%	2%

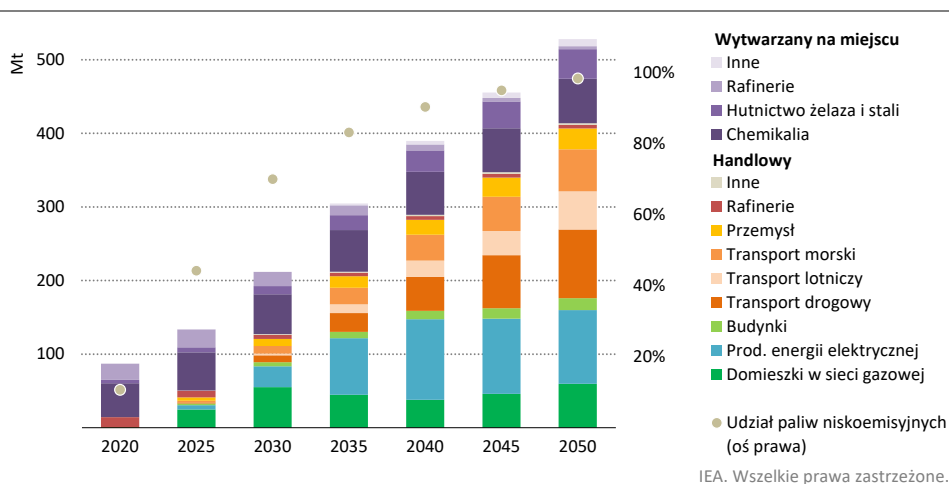
Wyjaśnienie: TFC = całkowite zużycie końcowe.

2.5.5 Wodór i paliwa na bazie wodoru

Początkowo głównym celem wykorzystania wodoru w scenariuszu NZE jest przekształcenie istniejących zastosowań energii z paliw kopalnych w niskoemisyjny wodór w sposób, który nie będzie wymagać natychmiastowego stworzenia nowej infrastruktury przesyłowej i dystrybucyjnej. Obejmuje to wykorzystanie wodoru w przemyśle oraz w rafineriach i elektrowniach, a także mieszanie wodoru z gazem ziemnym w celu dystrybucji do użytkowników końcowych.

Globalne zużycie wodoru wzrośnie z poziomu poniżej 90 Mt w 2020 r. do ponad 200 Mt w 2030 r.; udział wodoru niskoemisyjnego wzrośnie z 10% w 2020 r. do 70% w 2030 r. (Rysunek 2.19). Około połowa niskoemisyjnego wodoru produkowanego na świecie w 2030 r. będzie pochodzić z elektrolizy, a pozostała część z węgla i gazu ziemnego wykorzystywanego z zastosowaniem systemów CCUS, chociaż proporcje te różnić się będą znacznie w zależności od regionu. Wodór będzie również mieszany z gazem ziemnym w sieciach gazowych: w 2030 r. średnia ilość dodawanego wodoru wynosić będzie 15% według objętości, co zmniejszy emisje CO₂ wynikające ze zużycia gazu ziemnego o około 6%.

Rysunek 2.19 ▶ Światowe zużycie wodoru i paliw na bazie wodoru w scenariuszu NZE



Początkowo wodór ma być wykorzystywany przede wszystkim do przestawienia istniejących zastosowań na wodór niskoemisyjny; następnie wodór i paliwa na bazie wodoru będą stosowane we wszystkich zastosowaniach końcowych

Wyjaśnienie: Obejmuje to wodór i wodór zawarty w amoniaku i paliwach syntetycznych.

Zmiany te ułatwią szybkie zwiększenie zdolności produkcyjnych elektrolizerów i równoległy rozwój nowej infrastruktury do transportu wodoru. Doprowadzi to do szybkiego obniżenia kosztów elektrolizerów i magazynowania wodoru, zwłaszcza w kawernach solnych. Magazynowany wodór będzie wykorzystywany kompensacji zarówno sezonowych wahań

zapotrzebowania na energię elektryczną, jak i potencjalnego braku równowagi między zapotrzebowaniem na wodór a jego dostawami przez pozasieciowe systemy odnawialne. W latach 2020. nastąpi również duży wzrost liczby instalacji urządzeń końcowego zastosowania wodoru, w tym ponad 15 mln pojazdów napędzanych wodorowymi ogniwami paliwowymi, które znajdą się na drogach do 2030 r.

W scenariuszu NZE, po 2030 r. nastąpi gwałtowny wzrost niskoemisyjnego wykorzystania wodoru we wszystkich sektorach. W sektorze energii elektrycznej wodór i paliwa na bazie wodoru stanowią ważne niskoemisyjne źródło elastyczności systemu elektroenergetycznego, głównie poprzez modernizację istniejących mocy wytwórczych elektrowni gazowych w celu współspalania z wodorem, a także pewnym stopniem modernizacji elektrowni węglowych w celu współspalania z amoniakiem. Chociaż paliwa te zapewnią będą jedynie około 2% całkowitej produkcji energii elektrycznej w 2050 r., przełoży się to na bardzo duże ilości wodoru i sprawi, że sektor energii elektrycznej będzie ważnym czynnikiem napędzającym popyt na wodór. W scenariuszu NZE, w transporcie w 2050 r. wodór będzie pokrywać około jednej trzeciej zużycia paliw w samochodach ciężarowych: jest to uwarunkowane podjęciem przez decydentów decyzji umożliwiających rozwój niezbędnej infrastruktury do 2030 r. Do 2050 r. paliwa na bazie wodoru będą również pokrywać ponad 60% całkowitego zużycia paliwa w transporcie morskim.

Z 530 Mt wodoru wyprodukowanego w 2050 r. około 25% zostanie produkowane w zakładach przemysłowych (w tym rafineriach), a pozostałą część stanowiąc będzie wodór handlowy (wodór produkowany przez jedno przedsiębiorstwo w celu sprzedaży innym). Prawie 30% niskoemisyjnego wodoru wykorzystywanego w 2050 r. będzie mieć postać paliw na bazie wodoru, do których zalicza się amoniak oraz syntetyczne ciecze i gazy. Coraz większa część produkcji wodoru będzie pochodzić z elektrolizerów, których udział w całkowitej produkcji w 2050 r. wyniesie 60%. Elektrolizery będą zasilane energią elektryczną z sieci, z dedykowanych odnawialnych źródeł w regionach o doskonałych zasobach odnawialnych oraz z innych źródeł niskoemisyjnych, takimi jak energia jądrowa. Wprowadzenie na rynek elektrolizerów w tempie wymaganym przez scenariusz NZE jest kluczowym wyzwaniem, biorąc pod uwagę obecny brak zdolności produkcyjnych, podobnie jak zapewnienie dostępności wystarczającej mocy wytwórczej energii elektrycznej. W scenariuszu NZE z czasem rozwinie się globalny handel wodorem, przy czym duże ilości będą eksportowane z bogatych w gaz ziemny i źródła odnawialne obszarów Bliskiego Wschodu, Ameryki Środkowej i Południowej oraz Australii do ośrodków wysokiego zapotrzebowania zlokalizowanych w Azji i Europie.

Tabela 2.7 ▶ Główne etapy wdrażania wodoru i paliw na bazie wodoru

Sektor	2020	2030	2050
Całkowita produkcja paliw na bazie wodoru (Mt)	87	212	528
Niskoemisyjna produkcja wodoru	9	150	520
<i>udział wodoru wytwarzanego z paliw kopalnych z systemami CCUS</i>	<i>95%</i>	<i>46%</i>	<i>38%</i>
<i>udział wodoru z elektrolizy</i>	<i>5%</i>	<i>54%</i>	<i>62%</i>
Produkcja wodoru handlowego	15	127	414
Produkcja na miejscu	73	85	114
Całkowite zużycie paliw na bazie wodoru (Mt)	87	212	528
Energia elektryczna	0	52	102
w tym wodór	0	43	88
w tym amoniak	0	8	13
Rafinerie	36	25	8
Budynki i rolnictwo	0	17	23
Transport	0	25	207
w tym wodór	0	11	106
w tym amoniak	0	8	44
w tym paliwa syntetyczne	0	5	56
Przemysł	51	93	187

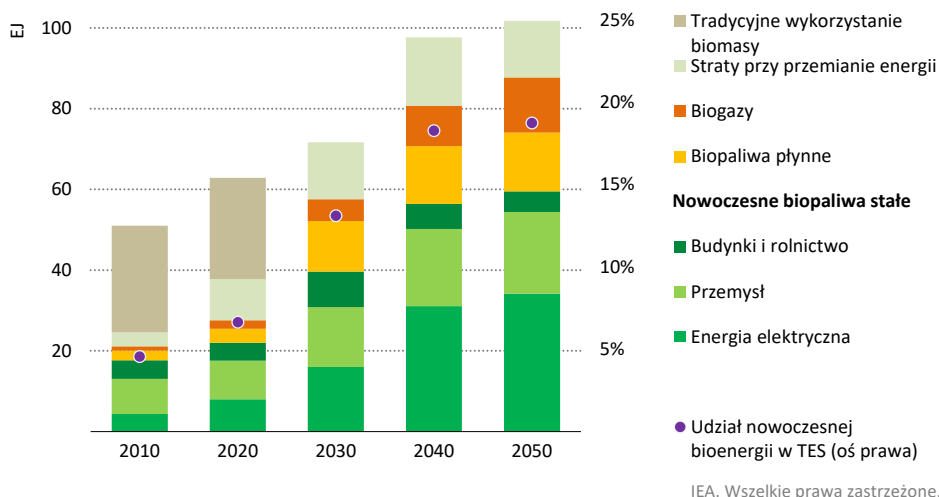
Wyjaśnienie: Dane dotyczące paliw na bazie wodoru podano w milionach ton wodoru potrzebnego do ich wytworzenia.

2.5.6 Bioenergia

Globalne pierwotne zapotrzebowanie na bioenergię wyniosło prawie 65 EJ w 2020 r., z czego około 90% stanowiła biomasa stała. Około 40% biomasy stałej wykorzystywano w tradycyjnych metodach gotowania, które są nieprzyjazne dla środowiska i nieefektywne oraz powodują zanieczyszczenie, a także wykazano ich związek z 2,5 mln przedwczesnych zgonów w 2020 r. W scenariuszu NZE, wykorzystanie biomasy stałej w ten sposób spadnie do zera do 2030 r., aby osiągnąć 7. Cel Zrównoważonego Rozwoju ONZ. Wzrost dla wszystkich form nowoczesnej bioenergii zapewni więcej niż kompensację tego spadku, przy wzroście produkcji z wartości poniżej 40 EJ w 2020 r. do około 100 EJ w 2050 r. (Rysunek 2.20).¹⁵ Cała bioenergia w 2050 r. będzie pochodzić ze zrównoważonych źródeł, a dane liczbowe w scenariuszu NZE dotyczące całkowitego wykorzystania bioenergii są znacznie poniżej szacunków dotyczących globalnego potencjału zrównoważonej bioenergii, co pozwala uniknąć ryzyka negatywnego wpływu na różnorodność biologiczną, systemy słodkiej wody oraz ceny i dostępność żywności (zob. punkt 2.7.2).

¹⁵ Nowoczesna bioenergia obejmuje biogazy, biopaliwa płynne i nowoczesną biomasę stałą pozyskiwaną ze źródeł odnawialnych. Wyklucza ona tradycyjne wykorzystanie biomasy.

Rysunek 2.20 ▶ Całkowita podaż bioenergii w scenariuszu NZE



Wykorzystanie nowoczesnej bioenergii wzrośnie do 100 EJ w 2050 r., zaspokajając prawie 20% całkowitego zapotrzebowania na energię. Globalny popyt w 2050 r. będzie znacznie poniżej oszacowanego zrównoważonego potencjału

Wyjaśnienie: TES = całkowita podaż energii. Podczas produkcji biopaliw i biogazów występują straty wynikające z przemiany energii.

Do 2050 r. wykorzystanie nowoczesnych biopaliw stałych będzie wzrastać średnio o około 3% rocznie. W sektorze elektroenergetycznym, w którym zapotrzebowanie na energię elektryczną osiągnie w 2050 r. 35 EJ, biopaliwa stałe zapewnią będą elastyczne niskoemisyjne wytwarzanie energii, uzupełniające wytwarzanie energii z ogniw fotowoltaicznych i wiatru, oraz pozwolą na usuwanie CO₂ z atmosfery, jeżeli instalacje do ich spalania będą wyposażone w systemy CCUS. W 2050 r. produkcja energii elektrycznej z wykorzystaniem biopaliw osiągnie poziom 3 300 TWh, czyli 5% całkowitej produkcji. Bioenergia odpowiadać będzie również około 50% produkcji ciepła. W przemyśle, gdzie w 2050 r. zapotrzebowanie osiągnie 20 EJ, biopaliwa stałe zapewnią ciepło wysokotemperaturowe i mogą być współspalane z węglem w celu zmniejszenia intensywności emisji z istniejących obiektów wytwórczych. Zapotrzebowanie będzie największe w przypadku produkcji papieru i cementu: w 2050 r. bioenergia zaspokoi 60% zapotrzebowania na energię w sektorze papierniczym i 30% zapotrzebowania na energię w produkcji cementu. Zapotrzebowanie na nowoczesne biopaliwa stałe w budynkach wzrośnie do prawie 10 EJ w 2030 r., z czego większość przypadnie na ich wykorzystanie w ulepszonych piecach kuchennych, ponieważ nastąpi odejście od niezrównoważonego tradycyjnego wykorzystania biomasy. Bioenergia będzie również coraz częściej wykorzystywana do ogrzewania pomieszczeń i wody w gospodarkach rozwiniętych.

W scenariuszu NZE, do 2030 r. biogazownie przydomowe i wiejskie na obszarach wiejskich stanowić będą źródło energii odnawialnej i umożliwią czyste gotowanie prawie 500 milionom gospodarstw domowych, a całkowite wykorzystanie biogazu wzrośnie do 5,5 EJ w 2050 r. (z poziomu poniżej 2 EJ w 2020 r.).¹⁶ Zapotrzebowanie na biometan wzrośnie do 8,5 EJ dzięki wprowadzeniu nakazów dotyczących jego mieszania w sieciach gazowych, przy czym w wielu regionach do 2050 r. średni poziom mieszania wzrośnie do ponad 80%. Połowa całkowitego zużycia biometanu przypadając będzie na sektor przemysłowy, gdzie biometan zastąpi gaz ziemny jako źródło ciepła technologicznego. Sektory budynków i transportu będą w 2050 r. odpowiadać za około 20% zużycia biometanu.

Jedną z kluczowych zalet bioenergii jest to, że umożliwia ona wykorzystanie istniejącej infrastruktury. Na przykład, biometan może być przesyłany w istniejących rurociągach gazu ziemnego i wykorzystywany w urządzeniach użytkowników końcowych, natomiast wiele płynnych biopaliw stanowiących odpowiedniki paliw konwencjonalnych umożliwia wykorzystywanie istniejących sieci dystrybucji ropy naftowej i może być stosowanych w pojazdach po jedynie niewielkich lub ograniczonych zmianach. BioLPG – gaz płynny pozyskiwany z surowców odnawialnych – jest identyczny z konwencjonalnym gazem płynnym, a więc może być mieszany i dystrybuowany w ten sam sposób. Zrównoważona bioenergia stanowi również cenne źródło zatrudnienia i dochodów dla społeczności wiejskich, zmniejsza nadmierne obciążenie kobiet, które często zajmują się zbieraniem opatu, przynosi korzyści zdrowotne wynikające z mniejszego zanieczyszczenia powietrza i właściwej gospodarki odpadami, a także zmniejsza emisję metanu pochodzącego z nieefektywnego spalania i rozkładu odpadów.

W scenariuszu NZE, zużycie biopaliw płynnych wzrośnie z 1,6 mboe/d w 2020 r. do 6 mboe/d w 2030 r., głównie w transporcie drogowym. Po 2030 r. zużycie biopaliw płynnych będzie rosło wolniej, do około 7 mboe/d w 2050 r., a głównymi obszarami ich wykorzystania będą transport morski i lotnictwo, ponieważ energia elektryczna będzie coraz bardziej dominować w transporcie drogowym. Prawie połowa zużycia biopaliw płynnych w 2050 r. będzie przypadać na lotnictwo, gdzie biopaliwo lotnicze będzie odpowiadać około 45% całkowitego zużycia paliwa w samolotach.

Bioenergia z wychwytywaniem i składowaniem dwutlenku węgla (BECCS) odgrywa kluczową rolę w scenariuszu NZE w zakresie równoważenia emisji z sektorów, w których pełna eliminacja emisji jest bardzo trudna do osiągnięcia. W 2050 r. około 10% całkowitej bioenergii będzie wykorzystywane w obiektach wyposażonych w systemy CCUS, a około 1,3 Gt CO₂ będzie wychwytywane przy użyciu systemów BECCS. Około 45% tego CO₂ będzie wychwytywane w produkcji biopaliw, 40% w sektorze energii elektrycznej, a pozostała część w przemyśle ciężkim, zwłaszcza w produkcji cementu.

¹⁶ Biogaz to mieszanina metanu, CO₂ i niewielkich ilości innych gazów powstających w wyniku beztlenowej fermentacji materii organicznej w środowisku pozbawionym tlenu. Biometan jest niemal czystym źródłem metanu produkowanego poprzez usunięcie CO₂ i innych zanieczyszczeń z biogazu lub poprzez gazyfikację stałej biomasy (IEA, 2020b).

Tabela 2.8 ► Główne etapy wdrażania bioenergii

	2020	2030	2050
Całkowita podaż energii (EJ)	63	72	102
Udział zaawansowanych surowców z biomasy	27%	85%	97%
Nowoczesne biopaliwa gazowe (EJ)	2,1	5,4	13,7
Biometan	0,3	2,3	8,3
Nowoczesne biopaliwa płynne (mboe/d)	1,6	6,0	7,0
Zaawansowane biopaliwa	0,1	2,7	6,2
Nowoczesne biopaliwa stałe (EJ)	32	54	74
Tradycyjne wykorzystanie biomasy stałej (EJ)	25	0	0
Miliony ludzi używających tradycyjnej biomasy do gotowania	2 340	0	0

Wyjaśnienie: mboe/d = milion baryłek przeliczeniowych ropy naftowej dziennie. Bioenergia z plantacji leśnych jest uważana za zaawansowaną, jeśli lasy są zarządzane w sposób zrównoważony (zob. punkt 2.7.2).

2.5.7 Wychwytywanie, wykorzystywanie i składowanie dwutlenku węgla

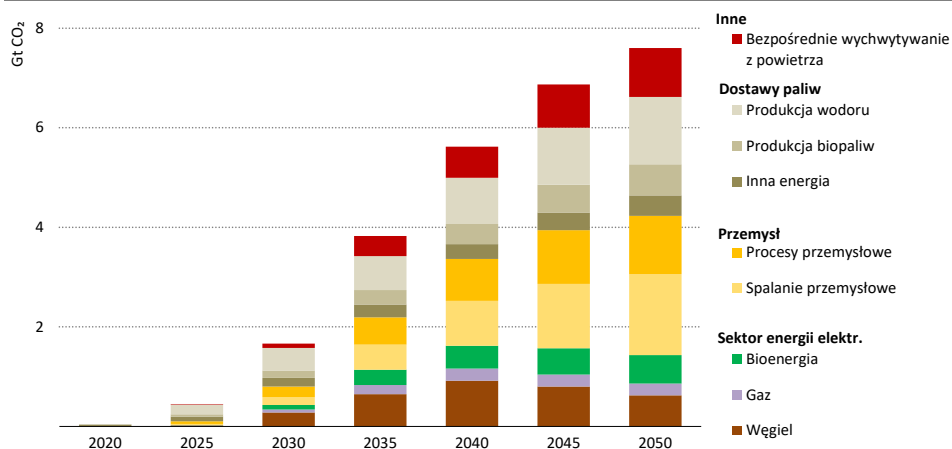
CCUS może ułatwić przejście do zerowych emisji CO₂ netto poprzez rozwiązanie problemu emisji z istniejących obiektów, zapewnienie sposobu eliminacji emisji z niektórych najbardziej wymagających sektorów, zapewnienie opłacalnej ścieżki szybkiego zwiększenia skali niskoemisyjnej produkcji wodoru oraz umożliwienie usuwania CO₂ z atmosfery poprzez systemy BECCS i DACCS.

W scenariuszu NZE, polityki rządów wspierać będą szereg działań mających na celu utworzenie rynków dla inwestycji w CCUS oraz zachęcanie do korzystania ze wspólnej infrastruktury transportu i składowania CO₂ przez podmioty zaangażowane w produkcję wodoru i biopaliw, działalności węzłów przemysłowych oraz modernizacji istniejących elektrowni węglowych. W ciągu najbliższych pięciu lat wielkość wychwytywania w scenariuszu NZE nieznacznie wzrośnie z obecnego poziomu około 40 Mt CO₂ rocznie, z uwagi na realizowane obecnie projekty, ale w ciągu kolejnych 25 lat nastąpi gwałtowny wzrost w tym obszarze, ponieważ działania polityczne przyniosą pożądane efekty. Do 2030 roku na świecie będzie wychwytywanych 1,6 Gt CO₂ rocznie, a w 2050 roku ilość ta wzrośnie do 7,6 Gt CO₂ (Rysunek 2.21). Około 95% całkowitej ilości CO₂ wychwyconego w 2050 r. będzie składowane w stałych składowiskach geologicznych, a 5% będzie wykorzystywane do produkcji paliw syntetycznych. Szacunki dotyczące globalnych możliwości składowania geologicznego znacznie przewyższają ilość konieczną do składowania skumulowanej ilości CO₂ wychwytywanego i składowanego zgodnie ze scenariuszem ZEN. W 2050 r. z atmosfery będzie wychwytywane łącznie 2,4 Gt CO₂ dzięki bioenergii z wychwytywaniem CO₂ i bezpośredniemu wychwytywaniu z powietrza, z czego 1,9 Gt CO₂ będzie składowane w sposób trwały, a 0,5 Gt CO₂ będzie wykorzystywane do produkcji paliw syntetycznych, w szczególności dla lotnictwa.

Emisje CO₂ związane z energią i procesami technologicznymi w przemyśle stanowiąc będą prawie 40% CO₂ wychwyconego w 2050 r. w scenariuszu NZE. CCUS jest szczególnie ważne w przypadku produkcji cementu. Mimo, że scenariusz NZE przewiduje podejmowanie wysiłków w celu bardziej efektywnej produkcji cementu, CCUS pozostaje centralnym

elementem działań mających na celu ograniczenie emisji technologicznych mających miejsce podczas produkcji cementu. Sektor elektroenergetyczny będzie odpowiadać za prawie 20% emisji CO₂ wychwytywanego w 2050 r. (z czego około 45% będzie pochodzić z elektrowni węglowych, 40% z bioelektrowni i 15% z elektrowni gazowych). Udział elektrowni wyposażonych w systemy CCUS w całkowitej produkcji energii elektrycznej w 2050 r. wyniesie zaledwie 3%, ale ilości wychwytywanego CO₂ będą stosunkowo duże. Na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się, gdzie wiele elektrowni węglowych zostało zbudowanych stosunkowo niedawno, modernizacja będzie odgrywać ważną rolę tam, gdzie istnieć będą możliwości składowania. W gospodarkach rozwiniętych większą rolę odgrywać będą elektrownie gazowe z CCUS, które będą dostarczać dyspozycyjną energię elektryczną po stosunkowo niskich kosztach w regionach, w którym dostępny będzie tani gaz ziemny i istnieją odpowiednie sieci. W 2030 roku w CCUS wyposażone będą elektrownie węglowe o łącznej mocy około 50 GW (4% całkowitej mocy) i elektrownie gazowe o mocy 30 GW (1% całkowitej mocy), natomiast w 2050 roku liczby te wzrosną do 220 GW dla elektrowni węglowych (prawie połowa całkowitej mocy) i 170 GW dla elektrowni gazowych (7% całkowitej mocy). Kolejne 30% CO₂ wychwytywanego w 2050 r. będzie pochodzić z przetwarzania paliw, w tym produkcji wodoru i biopaliw oraz rafinacji ropy naftowej. Pozostałe 10% będzie pochodzić z systemów DAC, których skala wzrośnie z kilku projektów pilotażowych obecnie do 90 Mt CO₂ rocznie w 2030 r. i nieco poniżej 1 Gt CO₂ rocznie do 2050 r.

Rysunek 2.21 ► Pokrycie ogłoszonych krajowych zobowiązań zerowych netto



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Do 2050 r. z różnych źródeł wychwytywanych będzie rocznie 7,6 Gt CO₂. Łącznie 2,4 Gt CO₂ będzie wychwytywanych z wykorzystaniem bioenergii i systemów DAC, z czego 1,9 Gt CO₂ będzie trwale składowane

Tabela 2.9 ► Kluczowe globalne etapy dla CCUS

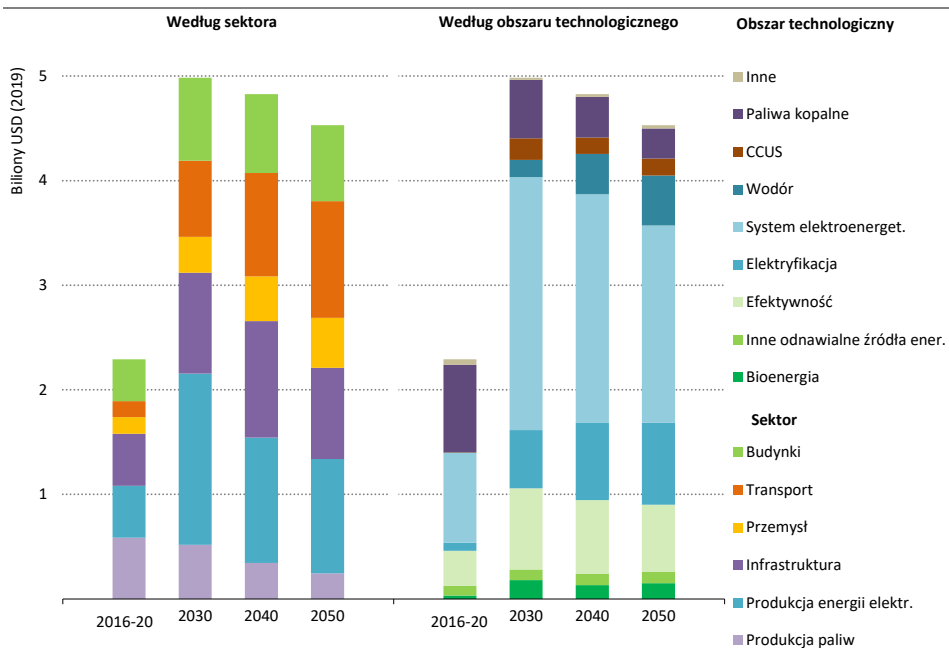
	2020	2030	2050
Całkowity wychwycony CO₂ (Mt CO₂)	40	1 670	7 600
CO ₂ wychwytywany z paliw kopalnych i procesów technologicznych	39	1 325	5 245
Energetyka	3	340	860
Przemysł	3	360	2 620
Produkcja wodoru handlowego	3	455	1 355
Produkcja inna niż produkcja biopaliw	30	170	410
CO ₂ wychwytywany z bioenergii	1	255	1 380
Energetyka	0	90	570
Przemysł	0	15	180
Produkcja biopaliw	1	150	625
Bezpośrednie wychwytywanie z powietrza	0	90	985
Usuwanie	0	70	630

2.6 Inwestycje

Radykalna transformacja światowego systemu energetycznego, która jest konieczna do osiągnięcia zerowych emisji CO₂ netto w 2050 r., zależy od znacznego wzrostu inwestycji i istotnej zmiany w zakresie tego, na co przeznaczany jest kapitał. W scenariuszu NZE roczne inwestycje w energetykę rosną z nieco ponad 2 bln USD średnio na całym świecie w ciągu ostatnich pięciu lat do prawie 5 bln USD do 2030 r. i do 4,5 bln USD do 2050 r. (Rysunek 2.22).¹⁷ Całkowite roczne nakłady inwestycyjne na energetykę w scenariuszu NZE rosną z około 2,5% światowego PKB w ostatnich latach do około 4,5% w 2030 r., po czym spadają do 2,5% do 2050 r.

¹⁷ Poziomy inwestycji przedstawione w niniejszym raporcie w większym stopniu uwzględniają poprawę efektywności w budynkach niż przedstawiono w raporcie IEA World Energy Investment (IEA, 2020c) i dlatego różnią się od przedstawionych tam danych.

Rysunek 2.22 ▸ Średnioroczne nakłady inwestycyjne w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Nakłady inwestycyjne w energetyce wzrosną z 2,5% PKB w ostatnich latach do 4,5% do 2030 r.; większość z nich przeznaczona będzie na wytwarzanie energii elektrycznej, sieci i urządzenia elektryczne dla użytkowników końcowych

Wyjaśnienie: Infrastruktura obejmuje sieci elektryczne, publiczne punkty ładowania pojazdów elektrycznych, rurociągi i obiekty do składowania CO₂, obiekty do bezpośredniego wychwytywania i składowania dwutlenku węgla, stacje tankowania wodoru oraz terminale importowe i eksportowe wodoru, a także rurociągi i terminale do paliw kopalnych. Inwestycje w efektywność końcowego wykorzystania energii są kosztem przyrostowym poprawy charakterystyki energetycznej urządzeń w stosunku do konstrukcji konwencjonalnych. Systemy elektroenergetyczne obejmują systemy wytwarzania, magazynowania i dystrybucji energii elektrycznej oraz publiczne systemy ładowania pojazdów elektrycznych. Inwestycje w elektryfikację obejmują wydatki na akumulatory do pojazdów, pompy ciepła i urządzenia przemysłowe do produkcji materiałów z wykorzystaniem energii elektrycznej.

Zmiana w zakresie sposobów wydatkowania środków prowadzić będzie do wzrostu rocznych inwestycji w wytwarzanie energii elektrycznej z nieco ponad 500 mld USD w ciągu ostatnich pięciu lat do ponad 1 600 mld USD w 2030 r., a następnie do ich spadku w miarę dalszego obniżania kosztów technologii energii odnawialnej. Rosnąć będą również roczne inwestycje w energię jądrową: do 2050 r. wzrosną one ponad dwukrotnie w porównaniu z poziomem obecnym. Roczne inwestycje w dostawy paliw zmniejszą się jednak ze średnio około 575 mld USD w ciągu ostatniego półwiecza do 315 mld USD w 2030 r. i 110 mld USD w 2050 r. Udział dostaw paliw kopalnych w łącznych inwestycjach w sektorze energii spadnie z 25% w ostatnich latach do zaledwie 7% do 2050 r.: będzie to częściowo równoważone przez wzrost

wydatków na dostawy paliw niskoemisyjnych, takich jak wodór, paliwa na bazie wodoru i bioenergia. Roczne inwestycje w te paliwa wzrosną do prawie 140 mld USD w 2050 r. W scenariuszu NZE inwestycje w transport wzrosną znacząco ze 150 USD rocznie w ostatnich latach do ponad 1 100 mld USD w 2050 r.: wynika to głównie z początkowych kosztów samochodów elektrycznych w porównaniu z pojazdami konwencjonalnymi, pomimo spadku kosztu akumulatorów.

Jeśli chodzi o obszary technologiczne, najważniejszym obszarem w scenariuszu NZE jest elektryfikacja. Oprócz zwiększenia inwestycji w wytwarzanie energii elektrycznej, nastąpi ogromny wzrost inwestycji w rozbudowę i modernizację sieci energetycznych. Roczne inwestycje wzrosną ze średnio 260 mld USD w ostatnich latach do około 800 mld USD w 2030 r. i pozostaną na tym poziomie do 2050 r. Inwestycje te będą niezbędne do zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego w obliczu rosnącego zapotrzebowania na energię elektryczną i udziału źródeł o zmiennej charakterystyce wytwarzania w miksie energetycznym. Wystąpi również duży wzrost inwestycji w elektryfikację sektorów końcowego wykorzystania energii, co obejmuje wydatki na akumulatory do pojazdów elektrycznych, pompy ciepła i urządzenia przemysłowe wykorzystujące energię elektryczną. Oprócz inwestycji w elektryfikację, do 2030 r. nastąpi umiarkowany wzrost inwestycji w wodór w miarę zwiększania skali zakładów go wytwarzających, a następnie dalszy wzrost w miarę rozszerzania zastosowania wodoru w transporcie: roczne inwestycje w wodór, w tym w zakłady wytwarzające wodór, stacje tankowania i wyposażenie użytkowników końcowych, osiągną 165 mld USD w 2030 r. i ponad 470 mld USD w 2050 r. Przewiduje się również wzrost globalnych inwestycji w systemy CCUS (roczne inwestycje przekroczą 160 mld USD do 2050 r.) oraz w efektywność (około 640 mld USD rocznych inwestycji do 2050 r., głównie w głęboką modernizację budynków i efektywne urządzenia w sektorach przemysłu i budynków).

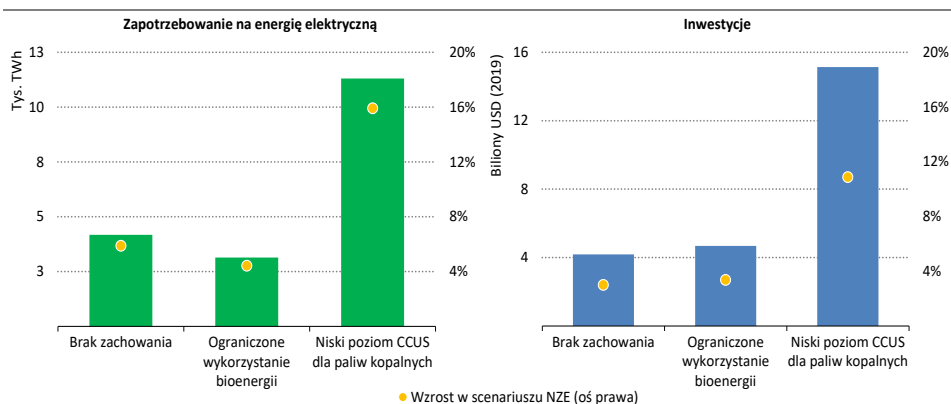
Finansowanie inwestycji niezbędnych zgodnie ze scenariuszem ZEN wymagać będzie przekierowania istniejącego kapitału na technologie czystej energii oraz znacznego zwiększenia ogólnego poziomu inwestycji w energię. Większość tych rosnących inwestycji pochodzić będzie ze źródeł prywatnych, uruchomionych przez polityki publiczne tworzące zachęty, ustanawiającą odpowiednie ramy regulacyjne i reformującą podatki energetyczne. Jednak do pobudzenia rozwoju nowych projektów infrastrukturalnych oraz do przyspieszenia innowacji w technologiach, które obecnie znajdują się w fazie demonstracji lub prototypu, potrzebne będzie również bezpośrednie finansowanie rządowe. Projekty realizowane na wielu rynkach wschodzących i gospodarkach rozwijających się są często w stosunkowo dużym stopniu zależne od finansowania publicznego, a polityka zapewniająca przewidywalny napływ projektów nadających się do finansowania bankowego odgrywa istotną rolę w pobudzaniu inwestycji prywatnych w tych gospodarkach, podobnie jak zwiększanie preferencyjnego finansowania dłużnego i wykorzystanie finansowania rozwojowego. Scenariusz NZE przewiduje podejmowanie szeroko zakrojonych działań w zakresie współpracy między krajami w celu ułatwienia międzynarodowego przepływu kapitału.

Duży wzrost inwestycji kapitałowych w scenariuszu NZE jest częściowo rekompensowany przez niższe wydatki operacyjne. Koszty operacyjne stanowią obecnie dużą część całkowitych kosztów projektów związanych z dostawami paliw oraz projektów związanych z wytwarzaniem energii z paliw kopalnych: czyste technologie, które w scenariuszu NZE odgrywają coraz większą rolę, charakteryzują się znacznie niższymi kosztami operacyjnymi.

2.7 Kluczowe niewiadome

Droga do zerowych emisji netto jest niepewna z wielu powodów: nie możemy być pewni, jak zmienią się podstawowe warunki ekonomiczne, które polityki będą najskuteczniejsze, jak ludzie i przedsiębiorstwa zareagują na sygnały rynkowe i polityczne, ani jak rozwiną się technologie i ich koszty w sektorze energii i poza nim. Scenariusz NZE jest zatem tylko jedną z możliwych dróg prowadzących do osiągnięcia zerowych emisji netto do 2050 r. W tym kontekście w niniejszej części przeanalizowano, jakie byłyby konsekwencje, gdyby założenia scenariusza ZEN okazały się błędne w odniesieniu do zmiany zachowań, bioenergii oraz CCUS dla paliw kopalnych. Te trzy obszary wybrano ze względu na fakt, że przyjęte w odniesieniu do nich założenia wiążą się z wysokim stopniem niepewności oraz ze względu na ich decydujący wkład w osiągnięcie zerowych emisji netto do 2050 r.

Rysunek 2.23 ► Dodatkowe zapotrzebowanie na energię elektryczną w 2050 r. oraz dodatkowe inwestycje w latach 2021-2050 dla wybranych obszarów niepewności



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Brak zmiany zachowań, ograniczenia w wykorzystaniu bioenergii i niepowodzenie w rozwoju CCUS dla paliw kopalnych spowodowałyby wzrost inwestycji w celu osiągnięcia zerowych emisji netto o 4-15 bilionów USD

Wyjaśnienie: Brak zachowania zakłada brak którejkolwiek ze zmian zachowań ujętych w scenariuszu NZE. Ograniczone wykorzystanie bioenergii zakłada brak wzrostu wykorzystania gruntów do produkcji biopaliw. Niski poziom CCUS dla paliw kopalnych zakłada brak wzrostu CCUS dla paliw kopalnych, z wyjątkiem projektów już zatwierdzonych lub będących w trakcie realizacji.

Nasza analiza wyraźnie pokazuje, że bardziej pesymistyczne założenia znacznie zwiększyłyby zarówno koszty, jak i trudności w osiągnięciu zerowych emisji netto do 2050 r. (Rysunek 2.23).

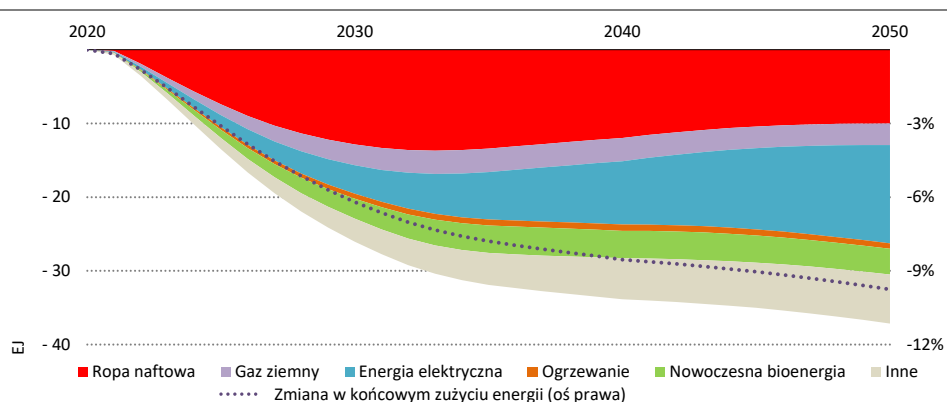
- Zmiany zachowań są ważne dla zmniejszenia zapotrzebowania na energię w transporcie, budynkach i przemyśle. Gdyby zmiany zachowań założone w scenariuszu NZE nie były możliwe do osiągnięcia, emisje w 2050 r. byłyby o około 2,6 Gt CO₂ wyższe. Uniknięcie tych emisji poprzez wykorzystanie dodatkowej niskoemisyjnej energii elektrycznej i wodoru kosztowałoby dodatkowe 4 biliony USD.
- Wykorzystanie bioenergii wzrośnie w latach 2020-2050 zgodnie ze scenariuszem ZEN o 60%, a wykorzystanie gruntów do upraw z tym związanych wzrośnie o około 25%. W scenariuszu NZE wykorzystanie bioenergii w 2050 r. będzie znacznie niższe niż obecne najlepsze szacunki dotyczące globalnego potencjału zrównoważonej bioenergii, jednak istnieje wysoki stopień niepewności co do osiągnięcia tego poziomu. Jeśli wykorzystanie gruntów pod uprawy na cele związane z bioenergią pozostanie na dzisiejszym poziomie, wykorzystanie bioenergii w 2050 roku będzie o około 10% niższe, a osiągnięcie zerowych emisji netto w 2050 roku będzie wymagać 4,5 biliona USD dodatkowych inwestycji.
- Brak rozwoju systemów CCUS dla paliw kopalnych znacznie zwiększyłby ryzyko wystąpienia aktywów osieroconych i wymagałby około 15 bilionów USD dodatkowych inwestycji w moc instalacji energii wiatrowej, słonecznej i elektrolizerów, aby osiągnąć ten sam poziom redukcji emisji. Może to również w krytycznym stopniu opóźnić postęp w zakresie BECCS i DACCS: jeśli nie będzie można ich wdrożyć na odpowiednią skalę, wówczas osiągnięcie zerowych emisji netto do 2050 r. będzie o wiele trudniejsze.

2.7.1 Zmiany behawioralne

Wpływ zmiany zachowań w wybranych sektorach w scenariuszu NZE

W scenariuszu NZE, zmiany w zachowaniu konsumentów energii odgrywają ważną rolę w ograniczaniu emisji CO₂ i wzroście zapotrzebowania na energię. Zmiany zachowań zmniejszają globalne zapotrzebowanie na energię o 37 EJ w 2050 r., co stanowi 10% redukcji zapotrzebowania na energię w tym czasie, natomiast bez tych zmian skumulowane emisje w latach 2021-2050 byłyby o około 10% wyższe (Rysunek 2.24). Zmiana zachowań odgrywa szczególnie ważną rolę w sektorze transportu.

Rysunek 2.24 ► Zmniejszenie całkowitego zużycia końcowego w wyniku zmian zachowań według paliw w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

*Wpływ zmian zachowań i efektywności wykorzystania materiałów
na końcowe zużycie energii wzrasta z czasem*

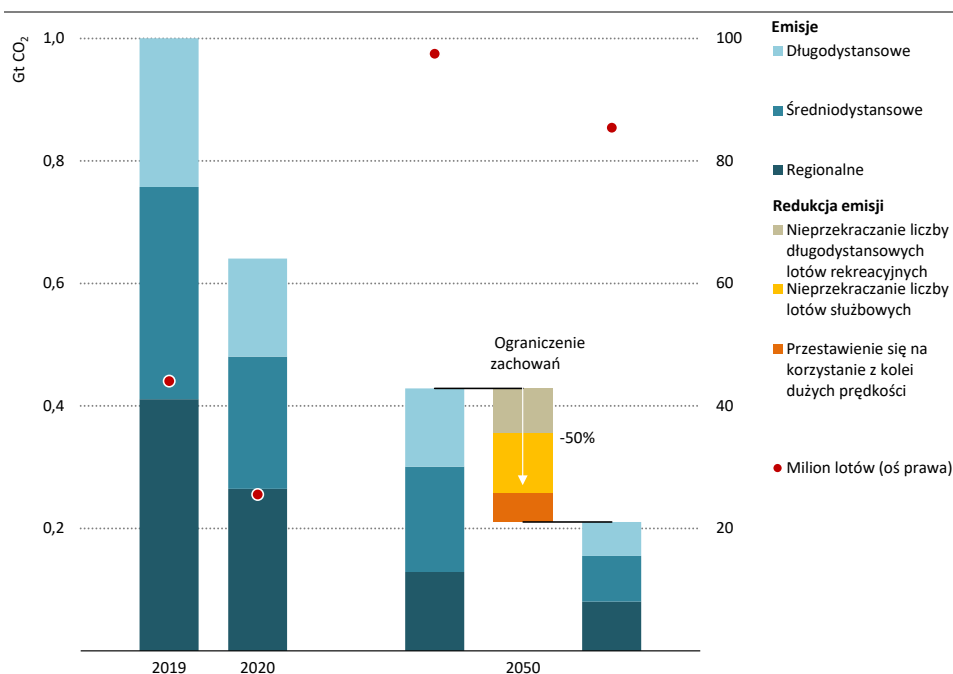
Wyjaśnienie: Inne obejmują węgiel, wodór, energię geotermalną, energię słoneczną, olej syntetyczny i gaz syntetyczny.

Lotnictwo pasażerskie. Przy braku zmian zakładanych w scenariuszu NZE, w latach 2020-2050 popyt w skali globalnej wzrósłby ponad trzykrotnie. Około 60% tego wzrostu nastąpiłoby na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się. W scenariuszu NZE trzy zmiany prowadzą do redukcji emisji z lotnictwa o 50% w 2050 roku, przy jednoczesnym zmniejszeniu liczby lotów tylko o 12% (Rysunek 2.25).

- Utrzymanie podróży lotniczych w celach służbowych na poziomie z 2019 r. Choć w 2020 r. liczba podróży służbowych spadła niemal do zera, przed pandemią stanowiły one nieco ponad jedną czwartą przewozów lotniczych. W scenariuszu NZE pozwoli to uniknąć emisji około 110 Mt CO₂ w 2050 r.
- Utrzymanie lotów długodystansowych (trwających ponad sześć godzin) w celach rekreacyjnych na poziomie z roku 2019. Emisje powstające w wyniku przeciętnego lotu długodystansowego są 35-krotnie większe niż emisje powstające w wyniku lotu regionalnego (krótszego niż jedna godzina). Dotyczy to mniej niż 2% lotów, ale pozwala uniknąć emisji 70 Mt CO₂ w 2050 r.
- Przystawienie się na korzystanie z kolei dużych prędkości. Możliwości zastąpienia lotów regionalnych przejazdami koleją dużych prędkości różnią się w zależności od regionu. W skali globalnej szacujemy, że w 2019 r. około 15% lotów regionalnych mogło zostać zastąpionych przejazdami koleją, biorąc pod uwagę istniejącą infrastrukturę kolejową, zaś dzięki przyszłym liniom kolei dużych prędkości, do 2050 r. zastąpionych mogłoby

zostać około 17% lotów regionalnych (IEA, 2019).¹⁸ Spowodowałoby to zmniejszenie emisji o około 45 Mt CO₂ w 2050 r. (w scenariuszu NZE, w 2050 r. pociągi dużych prędkości nie będą generować żadnych emisji).

Rysunek 2.25 ▸ Globalne emisje CO₂ z lotnictwa i wpływ zmian zachowań w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Zapotrzebowanie na loty pasażerskie znacznie wzrośnie do 2050 r., ale zmiany zachowań pozwolą ograniczyć emisje o 50% w 2050 r., mimo że ruch lotniczy zmaleje jedynie o 12%

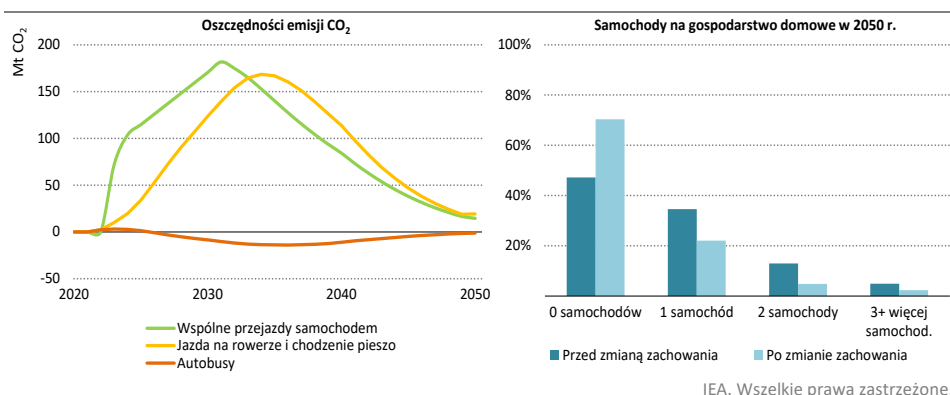
Wyjaśnienie: Długodystansowe = loty trwające ponad 6 godzin; średniodystansowe = loty trwające 1-6 godzin; regionalne = loty trwające mniej niż 1 godzina. Loty służbowe = podróże w celach służbowych; loty rekreacyjne = podróże w celach wypoczynkowych. Średnie prędkości różnią się w zależności od długości trasy lotu i wynoszą 680-750 km/h.

Korzystanie z samochodów osobowych. W scenariuszu NZE zakłada się szereg nowych działań, mających na celu ograniczenie korzystania samochodów w miastach oraz całkowitej liczby samochodów. Prowadzą one do szybkiego wzrostu rynku wspólnych przejazdów na obszarach miejskich, a także do stopniowego odchodzenia w dużych miastach od korzystania z zanieczyszczających środowisko samochodów na rzecz jazdy rowerem, chodzenia pieszo i

¹⁸ Zakłada się, że nowe trasy kolejowe będą omijać zbiorniki wodne i będą prowadzić tunelami drążonymi przez wzniesienia terenu; czasy podróży będą zbliżone do czasu lotu; a centra popytu będą wystarczająco duże, aby zapewnić opłacalność ekonomiczną kolei dużych prędkości.

korzystania z transportu publicznego. Czas wprowadzenia tych zmian w scenariuszu NZE zależy od tego, czy miasta będą dysponować niezbędną infrastrukturą i wsparciem publicznym, aby zapewnić odejście od korzystania z prywatnych samochodów. W zależności od miasta, 20-50% przejazdów samochodem zostanie zastąpionych jazdą autobusem, a pozostała część zostanie zastąpiona jazdą na rowerze, przemieszczaniem się pieszo i korzystaniem z transportu publicznego. Zmiany te spowodują zmniejszenie emisji generowanych przez samochody w miastach łącznie o ponad 320 Mt CO₂ w połowie lat 2030. (Rysunek 2.26). Ich wpływ na emisje z czasem zaniknie z powodu wzrostu udziału samochodów elektrycznych, ale nadal będą one mieć znaczący wpływ na ograniczenie zużycia energii w 2050 r.

Rysunek 2.26 ► Globalne ograniczenie emisji CO₂ i liczba samochodów w przeliczeniu na gospodarstwo domowe w wyniku zmiany zachowań w scenariuszu NZE



Polityka zniechęcająca do korzystania z samochodów w miastach doprowadzi do szybkiego zmniejszenia emisji CO₂ i redukcji liczby samochodów, chociaż wpływ ten z czasem ulegnie zmniejszeniu w miarę elektryfikacji samochodów

Stopniowe odchodzenie od korzystania z samochodów w miastach będzie również mieć wpływ na ich liczbę. Dane z przeprowadzonych badań wskazują, że programy wspólnego użytkowania samochodów (car-share) oraz zapewnienie transportu publicznego zmniejszają liczbę samochodów nawet o 35%, przy czym największe zmiany zachodzą w gospodarstwach domowych, w których używa się wielu samochodów (Jochem i in., 2020; Martin, Shaheen i Lidiker, 2010). Bez zmian zachowań, w 2050 r. samochód posiadałoby 35% gospodarstw domowych; dzięki zmianom zachowań, w scenariuszu NZE udział ten spadnie do około 20%, a udział gospodarstw domowych z dwoma samochodami spadnie z 13% wszystkich gospodarstw domowych do mniej niż 5%.

Zmieniające się w scenariuszu NZE wzorce mobilności w miastach będą mieć wpływ na zapotrzebowanie na materiały. Zmniejszenie liczby samochodów doprowadzi w 2050 r. do niewielkiego spadku popytu na stal, co pozwoli ograniczyć emisje z produkcji stali o około 40 Mt CO₂. Zwiększenie ruchu rowerowego będzie wymagać wsparcia poprzez budowę około 80 000 km nowych ścieżek rowerowych na całym świecie w okresie do 2050 r., co spowoduje zwiększone zapotrzebowanie na cement i asfalt. Efekt ten będzie jednak niewielki: dodatkowe emisje z tym związane wyniosą mniej niż 5% redukcji emisji osiągniętej dzięki ograniczeniu korzystania samochodów.

Jak doprowadzić do zmian zachowań przewidzianych w scenariuszu NZE

Regulacje i nakazy mogłyby umożliwić osiągnięcie redukcji około 70% emisji dzięki zmianom zachowań przewidzianych w scenariuszu NZE. Przykłady:

- Ograniczenia prędkości, które w scenariuszu NZE z czasem zostaną obniżone z obecnego poziomu do 100 km/h, co spowoduje zmniejszenie emisji z pojazdów drogowych o 3% w 2050 r.
- Normy dotyczące urządzeń maksymalizujące ich efektywność energetyczną w sektorze budynków.
- Regulacje dotyczące temperatur ogrzewania w biurach i domyślnych temperatur chłodzenia urządzeń klimatyzacyjnych, które ograniczają nadmierne zapotrzebowanie na ciepło i chłód.
- Zmiany stymulowane mechanizmami rynkowymi, np. rezygnacja z lotów regionalnych na rzecz przejazdów szybką koleją,¹⁹ które z czasem mogą zostać uregulowane przepisami odzwierciedlającymi zmiany nastrojów społecznych i norm konsumenckich.

Instrumenty rynkowe wykorzystują kombinację finansowych zachęt i bodźców zniechęcających, aby wpłynąć na proces podejmowania decyzji. Zgodnie ze scenariuszem ZEN, mogłyby one umożliwić redukcję emisji o około dwie trzecie dzięki zmianom zachowań. Przykłady:

- Opłaty za wjazd do centrum miasta i ukierunkowane działania zróżnicowane w zależności od typu pojazdu,²⁰ takie jak opłaty nakładane na pojazdy generujące najwięcej zanieczyszczeń lub preferencyjne parkowanie dla samochodów niskoemisyjnych.
- Działania w zakresie zapotrzebowania na transport, które ograniczają przejazdy, takie jak podatki paliwowe oraz opłaty za ubezpieczenie i rejestrację pojazdów uzależnione od pokonanej odległości (Byars, Wei i Handy, 2017).

¹⁹ We Francji (Assemblée Nationale, 2021) zaproponowano ustawę zakazującą lotów krajowych w przypadku istnienia możliwości alternatywnego przejazdu koleją trwającego poniżej dwóch i pół godziny.

²⁰ Opłaty zatorowe są obecnie stosowane w 11 dużych miastach i wykazano, że zmniejszają one natężenie ruchu nawet o 27%. Strefy niskoemisyjne, w których pobierane są opłaty za wjazd pojazdów do stref miejskich w zależności od typu pojazdu, istnieją obecnie w 15 krajach (TFL, 2021; Tools of Change, 2014; Komisja Europejska, 2021).

- Działania informacyjne pomagające konsumentom we wprowadzaniu zmian, takie jak obowiązkowe zamieszczanie na etykietach informacji o emisjach powstałych w wyniku produkcji danego wyrobu lub w jego cyklu życia oraz wymóg ujawniania przez przedsiębiorstwa informacji o ich emisji dwutlenku węgla.

Działania informacyjne i uświadamiające mogłyby umożliwić ograniczenie emisji o około 30% dzięki zmianom zachowań przewidzianym w scenariuszu NZE. Przykłady:

- Spersonalizowane informacje o planowaniu podróży w czasie rzeczywistym, które ułatwiają przejście na przemieszczanie się pieszo, jazdę na rowerze i korzystanie z transportu publicznego.
- Etykietowanie produktów i kampanie uświadamiające, których połączenie przyczynia się do upowszechnienia i przyzwyczajania do recyklingu.
- Porównanie z wzorcami zużycia energii w podobnych gospodarstwach domowych, co może zmniejszyć marnotrawienie energii nawet o 20% (Aydin, Brounen i Kok, 2018).

Nie wszystkie zmiany zachowań przewidziane w scenariuszu NZE byłyby równie łatwe do wprowadzenia we wszystkich krajach, a wdrażane polityki musiałyby czerpać z wiedzy dostępnej dzięki naukom behawioralnym i brać pod uwagę istniejące normy zachowań oraz preferencje kulturowe. Niektóre zmiany w zachowaniu mogą być bardziej akceptowalne społecznie niż inne. Zgromadzenia mieszkańców organizowane w Wielkiej Brytanii oraz Francji wskazują na duże poparcie dla podatków od osób podróżujących samolotami często i na długich trasach oraz dla zakazu wjazdu do centrów miast pojazdów emitujących zanieczyszczenia, natomiast działania mające na celu ograniczenie liczby samochodów lub obniżenie ograniczeń prędkości cieszą się mniejszą akceptacją (Convention Citoyenne pour le Climat, 2021; Climate Assembly UK, 2020). Zmiany zachowań, które zmniejszają zużycie energii w domach mogą cieszyć się szczególnym poparciem: niedawne badanie wykazało 85% poparcia dla naturalnego suszenia wypranej odzieży i wyłączenia urządzeń, a tylko 20% osób uznało, że obniżenie temperatury ogrzewania w domach jest niepożądane (Newgate Research i Cambridge Zero, 2021).

Tabela 2.10 ▶ Kluczowe zmiany zachowań w scenariuszu NZE

Opcje polityk	Powiązane cele polityk	Efektywność kosztowa	Terminowość	Akceptowalność społeczna	Wpływ na emisję CO ₂
Miasta o niskim wskaźniku korzystania z samochodów - Stopniowe wprowadzanie zakazu wjazdu samochodów z ICE do dużych miast. - Wszystkie przejazdy samochodami w mieście w systemie wspólnych przejazdów.	- Strefy niskoemisyjne. - Ograniczenia wjazdu. - Ograniczenia parkowania. - Ograniczenia możliwości rejestracji. - Ceny parkowania. - Oplaty zatorowe. - Inwestycje w ścieżki rowerowe i transport publiczny.	- Łagodzenie skutków zanieczyszczenia powietrza. - Zdrowie publiczne. - Zmniejszone zatłoczenie. - Przestrzeń miejska. - Upiększanie i poprawa komfortu mieszkańców.	●	●	●
Jazda samochodem pozwalająca na redukcję spalania - Obniżenie maksymalnej prędkości na autostradzie poniżej 100 km/h. - Ekojazda. - Podniesienie temperatury klimatyzacji w samochodach o 3 °C.	- Ograniczenia prędkości. - Wyświetlanie zużycia paliwa w czasie rzeczywistym. - Kampanie uświadamiające.	- Bezpieczeństwo drogowe. - Zmniejszona emisja hałasu.	●	●	●
Ograniczenie lotów regionalnych Zastąpienie wszystkich lotów trwających < 1 h tam, gdzie kolej dużych prędkości jest realną alternatywą.	- Inwestycje w koleje dużych prędkości. - Dotacje dla przejazdów koleją dużych prędkości. - Różnica w cenie.	- Mniejsze zanieczyszczenie powietrza. - Mniejsze zanieczyszczenie hałasem.	●	●	●
Ograniczenie lotów międzynarodowych - Utrzymanie podróży lotniczych w celach służbowych na poziomie z 2019 r. - Utrzymanie lotów długodystansowych w celach rekreacyjnych na poziomie z 2019 r.	- Kampanie uświadamiające. - Różnica w cenie. - Cele korporacyjne. - Oplaty dla pasażerów często podróżujących samolotem.	- Mniejsze zanieczyszczenie powietrza. - Mniejsze zanieczyszczenie hałasem.	●	●	●
Ogrzewanie pomieszczeń Docelowe średnie ustawienia temperatury na poziomie 19-20 °C.	- Kampanie uświadamiające. - Informacje zwrotne dotyczące zużycia. - Cele korporacyjne.	- Zdrowie publiczne. - Przystępność cenowa energii.	●	●	●
Chłodzenie pomieszczeń Docelowe średnie ustawienia temperatury na poziomie 24-25 °C.	- Kampanie uświadamiające. - Informacje zwrotne dotyczące zużycia. - Cele korporacyjne.	- Zdrowie publiczne. - Przystępność cenowa energii.	●	●	●

● = słabe dopasowanie

● = neutralne dopasowanie

● = dobre dopasowanie

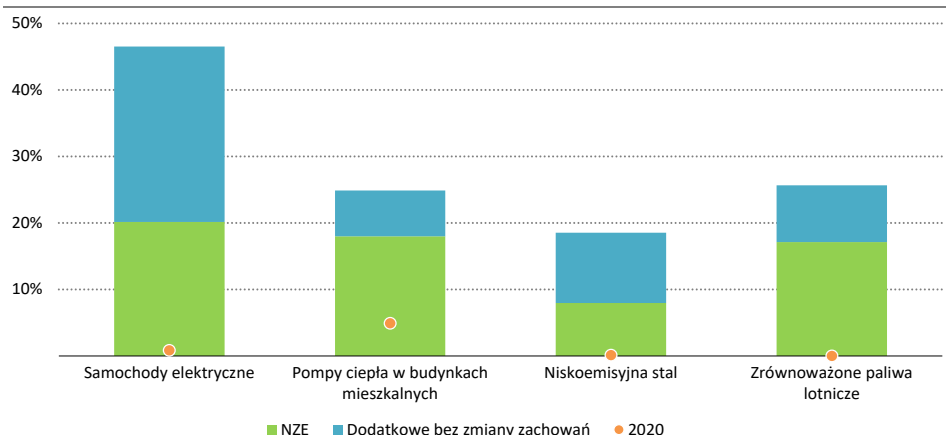
Wyjaśnienia: Duże miasta = miasta powyżej 1 miliona mieszkańców. ICE = silnik spalinowy. Wpływ na emisję CO₂ = skumulowane redukcje emisji w latach 2020-2050. Ekojazda = wczesna zmiana biegów na wyższe, jak również unikanie gwałtownego przyspieszania, zatrzymywania się oraz pracy silnika po zatrzymaniu. Liczba stanowisk umożliwiających pracę w domu różni się znacznie w zależności od regionu; na całym świecie średnio 20% stanowisk umożliwia pracę w domu.

Zmiany zachowań przewidziane w scenariuszu NZE przyniosłyby większe korzyści w zakresie zanieczyszczenia powietrza w miastach, bezpieczeństwa na drogach, zanieczyszczenia hałasem, zatorów komunikacyjnych oraz zdrowia. Nastawienie do interwencji politycznych może się szybko zmienić, gdy widoczne staną się dodatkowe korzyści. Na przykład poparcie dla opłat za wjazd do centrum miasta w Sztokholmie wzrosło z mniej niż 40% w momencie wprowadzenia systemu opłat do około 70% trzy lata później; podobną tendencję zaobserwowano w Singapurze, Londynie i innych miastach, z których wszystkie odnotowały spadek zanieczyszczenia powietrza po wprowadzeniu opłat (Tools of Change, 2014; DEFRA, 2012).

Czy osiągnięcie zerowych emisji netto do 2050 roku jest nadal możliwe bez zmiany zachowań?

W przypadku braku zmian zachowań opisanych w scenariuszu NZE, w 2030 r. zużycie energii końcowej byłoby o 27 EJ wyższe a emisje o 1,7 Gt CO₂ wyższe, natomiast w 2050 r. byłoby one wyższe odpowiednio o 37 EJ i 2,6 Gt CO₂. Spowodowałyby to dalsze zwiększenie i tak już bezprecedensowego wzrostu potrzeb w zakresie wdrożenia technologii niskoemisyjnych. Udział pojazdów elektrycznych w globalnej flocie samochodów musiałby wzrosnąć z około 20% w 2030 r. do 45%, aby zapewnić ten sam poziom redukcji emisji (Rysunek 2.27). Osiągnięcie takiej samej redukcji emisji w domach wymagałoby zwiększenia sprzedaży elektrycznych pomp ciepła do 680 mln w 2030 r. (w porównaniu z 440 mln przewidzianych w scenariuszu NZE). Bez zwiększenia efektywności wykorzystania materiałów, udział niskoemisyjnej produkcji stali pierwotnej musiałby być w 2030 r. ponad dwukrotnie wyższy niż przewidziano w scenariuszu NZE. W 2050 r. wykorzystanie zrównoważonych paliw lotniczych również musiałoby wzrosnąć do 7 mboe/d (w porównaniu z 5 mboe/d w scenariuszu NZE). Emisje z produkcji cementu i stali byłyby w 2050 r. o 1,7 Gt CO₂ wyższe niż w scenariuszu NZE, a zatem wymagałyby zwiększonego zastosowania systemów CCUS w przemyśle, zastosowania elektrycznych pieców łukowych i większego wykorzystania niskoemisyjnego wodoru.

Rysunek 2.27 ▶ Udział technologii i paliw niskoemisyjnych ze zmianą i bez zmiany zachowań w 2030 r. w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Przy braku zmian zachowań, udział technologii niskoemisyjnych w zastosowaniach końcowych w 2030 r. musiałby być znacznie większy, aby osiągnąć taki sam poziom emisji jak w scenariuszu NZE

Wyjaśnienia: Samochody elektryczne = udział samochodów elektrycznych na drogach w skali globalnej. Zrównoważone paliwa lotnicze = biopaliwo lotnicze do silników odrzutowych i syntetyczne paliwo lotnicze do silników odrzutowych. Niskoemisyjna produkcja stali dotyczy produkcji stali pierwotnej.

2.7.2 Bioenergia i zmiana użytkowania gruntów

Nowoczesne formy bioenergii odgrywają kluczową rolę w osiągnięciu zerowych emisji netto w scenariuszu NZE. Bioenergia jest uniwersalnym źródłem energii odnawialnej, które może być wykorzystywane we wszystkich sektorach i często umożliwia korzystanie z istniejącej infrastruktury przesyłowej i dystrybucyjnej oraz urządzeń dla użytkowników końcowych. Istnieją jednak ograniczenia w zwiększaniu podaży bioenergii: przy ograniczonym potencjale produkcji bioenergii ze strumieni odpadów, niemożliwe może okazać się jednocześnie zwiększenie produkcji bioenergii, osiągnięcie celów zrównoważonego rozwoju i uniknięcie konfliktów z innymi sposobami użytkowania gruntów, w szczególności z produkcją żywności.

Poziom wykorzystania bioenergii w scenariuszu NZE uwzględnia te ograniczenia: zapotrzebowanie na bioenergię w 2050 r. wyniesie około 100 EJ. Globalny potencjał zrównoważonej bioenergii w 2050 r. oceniono na co najmniej 100 EJ (Creutzig, 2015), a w najnowszych ocenach szacuje się, że potencjał ten wynosi 150-170 EJ przy uwzględnieniu odpowiednich Celów zrównoważonego rozwoju ONZ (Frank, 2021; IPCC, 2019; IPCC, 2014; Wu, 2019). Istnieje jednak duży stopień niepewności co do dokładnej wartości tego potencjału. Wykorzystując modelowanie opracowane we współpracy z IIASA, analizujemy tutaj wpływ na osiągnięcie zerowych emisji CO₂ netto do roku 2050, jeśli dostępne poziomy zrównoważonej bioenergii byłyby niższe. Badamy również, co należałoby zrobić, aby osiągnąć znaczną redukcję emisji pochodzących z rolnictwa, leśnictwa i innych form użytkowania gruntów (AFOLU).

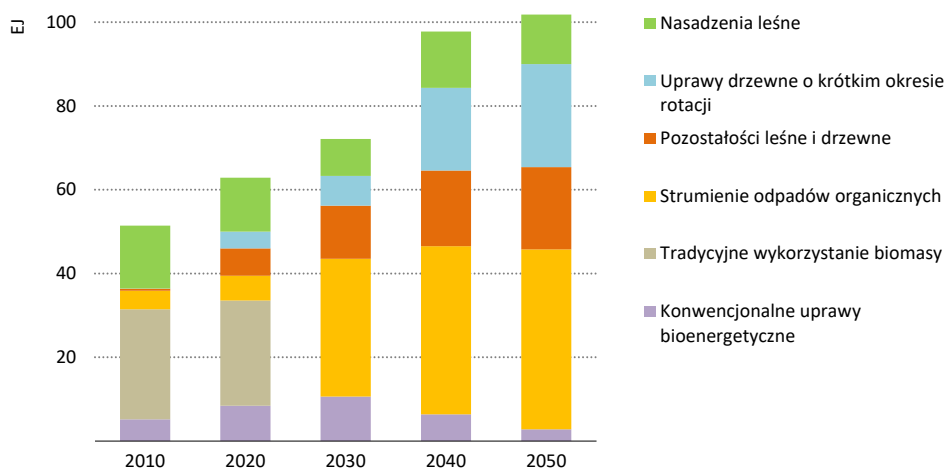
Większość produkowanych obecnie biopaliw płynnych pochodzi z wyspecjalizowanych upraw bioenergetycznych takich roślin, jak trzcina cukrowa, kukurydza czy rośliny oleiste; często określane są one jako biopaliwa konwencjonalne. Zwiększone wykorzystanie surowców i gruntów ornych do produkcji tych biopaliw może kolidować z produkcją żywności. W scenariuszu NZE przewiduje się zwrot w kierunku stosowania zrównoważonych, certyfikowanych produktów rolnych i drewna. W scenariuszu NZE, w procesach produkcji biopaliw wykorzystywane są zaawansowane technologie konwersji w połączeniu z systemami CCUS, tam gdzie jest to możliwe (zob. punkt 3.3.2). Nacisk kładzie się również na zaawansowane surowce bioenergetyczne, w tym strumienie odpadów z innych procesów, uprawy drzewne o krótkim okresie rotacji oraz surowce niewymagające wykorzystania gruntów ornych. W scenariuszu NZE, bioenergia zaawansowana stanowi zdecydowaną większość dostaw bioenergii do 2050 r. Wykorzystanie konwencjonalnych upraw energetycznych do produkcji biopaliw wzrośnie z około 9 EJ w 2020 r. do około 11 EJ w 2030 r., jednak później spadnie o 70% do 3 EJ w 2050 r. (w tym w odniesieniu do surowców zużywanych w procesach produkcji biopaliw).

Zaawansowane surowce do produkcji bioenergii, które nie wymagają wykorzystania gruntów, obejmują strumienie odpadów organicznych z rolnictwa i przemysłu oraz pozostałości drzewne z wycinki lasów i obróbki drewna. Inwestycje w kompleksową zbiórkę i sortowanie odpadów w scenariuszu NZE umożliwią około 45 EJ dostaw bioenergii z różnych strumieni odpadów organicznych, które będą wykorzystywane głównie do produkcji biogazów i zaawansowanych biopaliw (Rysunek 2.28). W scenariuszu NZE, pozostałości drzewne pochodzące z obróbki drewna i wycinki lasów zapewnią w 2050 r. dalsze 20 EJ bioenergii – mniej niż połowę obecnych najlepszych szacunków całkowitego zrównoważonego potencjału. Paliwa bioenergetyczne mogą być również produkowane z dedykowanych drzewnych upraw odroślowych o krótkiej rotacji (25 EJ dostaw bioenergii w 2050 r.).²¹ Drewno opałowe lub plantacje leśne zarządzane w sposób zrównoważony²² oraz nasadzenia drzew zintegrowane z produkcją rolną poprzez systemy rolno-leśne, które nie kolidują z produkcją żywności ani z różnorodnością biologiczną, zapewnią w 2050 r. nieco ponad 10 EJ bioenergii.

²¹ Drzewne uprawy odroślowe o krótkiej rotacji zlokalizowane na gruntach uprawnych, pastwiskach lub gruntach marginalnych nienadających się do uprawy roślin spożywczych.

²² Zrównoważona gospodarka leśna zapewnia zwiększenie lub utrzymanie na niezmienionym poziomie zasobów węgla i zdolności absorpcji dwutlenku węgla przez las.

Rysunek 2.28 ► Globalne dostawy bioenergii według źródeł w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

W latach 2020-2050 wykorzystanie bioenergii wzrośnie o około 60%, przy jednoczesnym odejściu od konwencjonalnych surowców i tradycyjnego wykorzystania biomasy

Wyjaśnienie: Strumienie odpadów organicznych obejmują pozostałości rolnicze, odpady z przetwórstwa żywności, przemysłowe i komunalne strumienie odpadów organicznych; nie wymagają one wykorzystania gruntów.

Źródło: Analiza IEA na podstawie danych IIASA.

Całkowita powierzchnia gruntów przeznaczonych pod produkcję bioenergii w scenariuszu NZE wzrośnie z 330 milionów hektarów (Mha) w 2020 r. do 410 Mha w 2050 r. W 2050 r. około 270 Mha zajmować będą lasy, co stanowi około jednej czwartej całkowitej powierzchni lasów zarządzanych na świecie i około 5% całkowitej powierzchni lasów. W 2050 r. pod zaawansowane uprawy bioenergetyczne o krótkiej rotacji wykorzystywanych będzie 130 Mha gruntów, a pod konwencjonalne uprawy bioenergetyczne – 10 Mha. W scenariuszu NZE nie przewiduje się ogólnego wzrostu wykorzystania gruntów uprawnych do produkcji bioenergii w stosunku do obecnego poziomu, a na terenach zalesionych nie przewiduje się prowadzenia się żadnych upraw bioenergetycznych.²³ Poza tym, że uprawy drewna energetycznego pozwalają na znacznie większą produkcję bioenergii na gruntach marginalnych, umożliwiają one produkcję dwukrotnie większej ilości bioenergii z hektara niż konwencjonalne uprawy energetyczne.

Całkowite wykorzystanie gruntów do celów wytwarzania bioenergii w scenariuszu NZE będzie znacznie poniżej szacunkowych zakresów potencjalnej dostępności gruntów, które w

²³ Z 140 Mha gruntów wykorzystywanych pod uprawy bioenergetyczne w 2050 r., 70 Mha stanowić będą grunty marginalne lub grunty obecnie wykorzystywane do wypasu zwierząt gospodarskich, a 70 Mha - pola uprawne. W scenariuszu NZE, do 2050 r. nastąpi wzrost powierzchni upraw roślin drzewiastych o 60 Mha, ale zostanie on zrównoważony przez zmniejszenie powierzchni gruntów przeznaczonych pod uprawy konwencjonalne wykorzystywane do produkcji biopaliw.

pełni uwzględniają ograniczenia związane ze zrównoważonym rozwojem, w tym potrzebę ochrony obszarów o dużej różnorodności biologicznej oraz realizację 15. Celu Zrównoważonego Rozwoju ONZ dotyczącego różnorodności biologicznej i użytkowania gruntów. Certyfikacja produktów bioenergetycznych i ścisła kontrola gruntów, które mogą być przekształcone w celu powiększenia plantacji leśnych i drzewiastych upraw energetycznych mają jednak kluczowe znaczenie dla uniknięcia konfliktów związanych z użytkowaniem gruntów. Certyfikacja ma również zasadnicze znaczenie dla zapewnienia integralności środków wyrównawczych w zakresie emisji CO₂ (zob. Rozdział 1), których stosowanie powinno być starannie zarządzane i ograniczone do sektorów, w których brakuje alternatywnych możliwości łagodzenia skutków. Powiązaną z użytkowaniem gruntów kwestią jest sposób postępowania w stosunku do emisji, które powstawać będą poza sektorem energii (Ramka 2.3).

Ramka 2.3 ► Bilansowanie emisji pochodzących z użytkowania gruntów, rolnictwa i leśnictwa

Aby ograniczyć wzrost temperatury na świecie, wszystkie źródła emisji gazów cieplarnianych muszą zostać zmniejszone do poziomu bliskiego zera lub zostać skompensowane za pomocą systemów CDR. W ostatnich latach sektor energii odpowiadał za około trzech czwartych całkowitych emisji gazów cieplarnianych. Największym źródłem emisji gazów cieplarnianych poza sektorem energii jest rolnictwo, leśnictwo i inne formy użytkowania gruntów (AFOLU), które w ostatnich latach spowodowały emisje netto gazów cieplarnianych w wysokości 10-12 Gt CO₂e.²⁴ Emisje CO₂ z AFOLU wynosiły około 5-6 Gt CO₂, a emisje podtlenku azotu i metanu – około 5-6 Gt CO₂e (IPCC, 2019).

Możliwości ograniczenia emisji z AFOLU i zwiększenia stopnia pochłaniania to między innymi powstrzymanie wylesiania, poprawa praktyk w zakresie gospodarki leśnej, wprowadzenie praktyk rolniczych zwiększających poziom węgla w glebie oraz zalesianie. Szereg firm wyraziło ostatnio zainteresowanie tego rodzaju rozwiązaniami opartymi na naturze w celu zrównoważenia emisji pochodzących z ich działalności (zob. Rozdział 1). W przypadku zalesiania, przekształcenie około 170 Mha (mniej więcej połowa powierzchni Indii) w lasy spowodowałoby sekwestrację około 1 Gt CO₂ rocznie do roku 2050.

W scenariuszu NZE, osiągnięcie zerowych emisji CO₂ netto związanych z energetyką i procesami przemysłowymi do 2050 r. nie zależy od żadnych działań kompensacyjnych podejmowanych poza sektorem energetyki. Jednak współmierne działania w zakresie AFOLU pomogłyby ograniczyć zmiany klimatyczne. Przekształcenie sektora energii przewidziane w scenariuszu NZE zmniejszyłoby emisje CO₂ z AFOLU w 2050 r. o około 150 Mt CO₂ dzięki odejściu od upraw konwencjonalnych i zwiększeniu produkcji zaawansowanych upraw bioenergetycznych o krótkiej rotacji na gruntach marginalnych i

²⁴ Emisje z AFOLU to emisje pochodzące z działalności antropogenicznej i nie obejmują usuwania emisji CO₂ z atmosfery przez naturalne pochłaniacze lądowe.

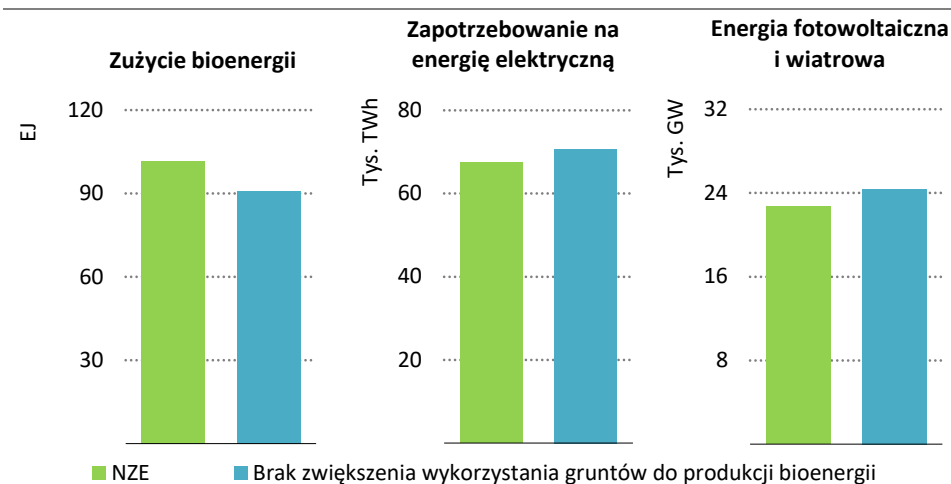
pastwiskach. Dalsze ograniczenie emisji z AFOLU wymagałoby ograniczenia wylesiania o dwie trzecie do 2050 r., wprowadzenia lepszych praktyk w zakresie gospodarki leśnej oraz zasadzenia około 250 mln ha nowych lasów. Łączny wpływ tych zmian doprowadziłby do zmniejszenia emisji CO₂ z AFOLU do zera do 2040 r. oraz do pochłaniania 1,3 Gt CO₂ rocznie do 2050 r. W tym przypadku skumulowane emisje CO₂ z AFOLU w latach 2020-2050 wyniosłyby około 40 Gt CO₂.

Emisje inne niż CO₂ generowane przez zwierzęta gospodarskie oraz inne emisje z rolnictwa mogą być trudniejsze do złagodzenia, zważywszy na związek między produkcją zwierzęcą a emisjami podtlenku azotu i metanu. Zmiany praktyk rolniczych i ulepszenia technologiczne, w tym zmiany w żywieniu zwierząt, mogłyby pomóc w ograniczeniu tych emisji, ale do zrównoważenia tych emisji może być konieczne zalesianie. Alternatywą mogłoby być ograniczenie tych emisji poprzez zmniejszenie popytu na produkty zwierzęce. Na przykład szacujemy, że ograniczenie spożycia mięsa w gospodarstwach domowych o najwyższym poziomie konsumpcji per capita do średniego poziomu światowego zmniejszyłoby emisje gazów cieplarnianych o ponad 1 Gt CO₂e w 2050 r. Mniejszy popyt na produkty zwierzęce zmniejszyłby globalne zapotrzebowanie na pastwiska dla zwierząt gospodarskich o blisko 200 Mha, a na pola uprawne wykorzystywane do uprawy pasz dla zwierząt gospodarskich o kolejne 80 Mha.

Czy osiągnięcie zerowych emisji netto do 2050 roku jest możliwe bez zwiększania wykorzystania gruntów na cele związane z bioenergią?

Szacunki dotyczące globalnego potencjału zrównoważonej bioenergii są obarczone wysokim stopniem niepewności, w szczególności w odniesieniu do zakresu, w jakim nowe obszary łądowe mogłyby zostać w sposób zrównoważony przekształcone w celu produkcji bioenergii. W rezultacie w scenariuszu NZE przyjęto ostrożne podejście do wykorzystania bioenergii, przy czym przewiduje się, że w 2050 r. (100 EJ) zużycie będzie znacznie niższe od najnowszych szacunków uwzględniających odpowiednie Cele zrównoważonego rozwoju, które sugerują potencjał w zakresie 150-170 EJ. Możliwe jest jednak, że tereny dostępne do produkcji zrównoważonej bioenergii są jeszcze bardziej ograniczone. W niniejszym dokumencie badamy wpływ na emisje ograniczenia wykorzystania gruntów pod uprawy bioenergetyczne i plantacje leśne do około 330 Mha, czyli do powierzchni wykorzystywanej obecnie.

Rysunek 2.29 ▶ Wpływ na zapotrzebowanie na energię elektryczną i możliwość osiągnięcia zerowych emisji netto do roku 2050 w przypadku braku zwiększonego wykorzystania terenów pod uprawy bioenergetyczne



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Osiągnięcie zerowych emisji netto bez zwiększania wykorzystania gruntów na cele upraw bioenergetycznych wymagałoby dodatkowych 3 200 TWh z instalacji fotowoltaicznych i wiatrowych, co zwiększyłoby moc przewidzianą w scenariuszu NZE o prawie 10%

Ograniczenie wykorzystania gruntów do 330 Mha zmniejszyłoby podaż dostępnej bioenergii w 2050 r. o ponad 10 EJ. Ograniczenie to przyjęłoby głównie formę zmniejszenia dostępności drzewiastych roślin energetycznych o krótkim czasie rotacji, które w scenariuszu NZE są wykorzystywane głównie jako zamiennik paliw kopalnych do dostarczania ciepła o wysokiej temperaturze do procesów przemysłowych i do wytwarzania energii elektrycznej. W przypadku braku bioenergii prawdopodobnie wykorzystywany byłby wodór i syntetyczny metan, a ich produkcja wymagałaby około 70 Mt wodoru w 2050 r. (15% więcej niż w scenariuszu NZE). Jeśli miałaby ona być produkowana z wykorzystaniem elektrolizy, wymagałoby to około 750 GW mocy elektrolizerów i zwiększyłoby zapotrzebowanie na energię elektryczną w 2050 roku o około 3 200 TWh (Rysunek 2.29).

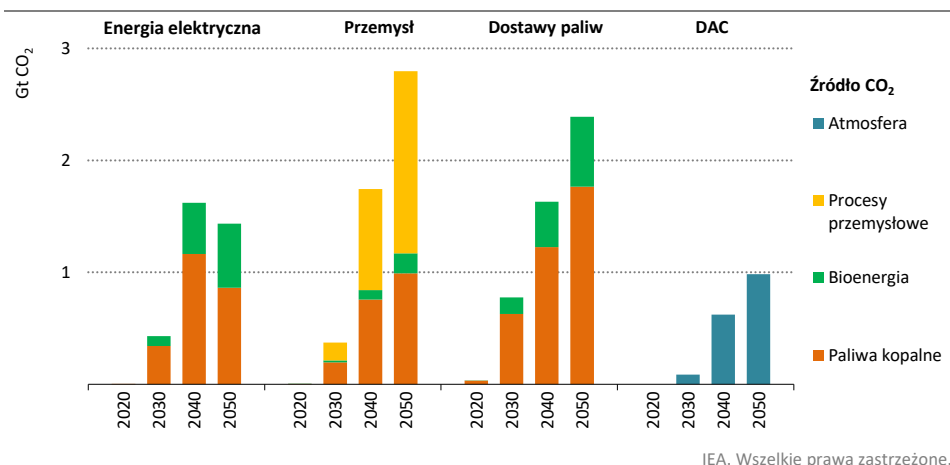
Dodatkowa energia elektryczna, która byłaby potrzebna, mogłaby być wytwarzana przy użyciu odnawialnych źródeł energii, co wymagałoby dodatkowych 1 700 GW mocy w elektrowniach wiatrowych i fotowoltaicznych oraz prawie 350 GW dodatkowej mocy w akumulatorach w roku 2050. Roczny przyrost mocy w latach 2030. musiałby być o 160 GW wyższy niż w scenariuszu NZE. Dodatkowa moc w obiektach energii wiatrowej i słonecznej, pojemności akumulatorów i mocy elektrolizerów, wraz z sieciami elektroenergetycznymi i magazynowaniem, niezbędna do zabezpieczenia tego wyższego poziomu mocy, kosztowałyby ponad 5 bilionów USD do 2050 r. Jest to kwota o 4,5 bln USD wyższa niż ta, która byłaby potrzebna w przypadku zwiększenia wykorzystania bioenergii zgodnie z założeniami scenariusza NZE i spowodowałaby wzrost

całkowitych nakładów inwestycyjnych potrzebnych do realizacji scenariusza NZE o 3%. O ile zatem osiągnięcie zerowego poziomu emisji netto w 2050 r. byłoby możliwe bez zwiększania powierzchni gruntów przeznaczonych pod uprawy bioenergetyczne, to jednak spowodowałyby to znaczne zwiększenie kosztów transformacji energetycznej.

2.7.3 Systemy CCUS wykorzystywane w odniesieniu do emisji z paliw kopalnych

Zgodnie ze scenariuszem NZE, w 2050 r. wychwytywane będzie łącznie 7,6 Gt CO₂, z czego prawie 50% będzie pochodzić ze spalania paliw kopalnych, 20% z procesów przemysłowych, a około 30% z wykorzystania bioenergii z wychwytywaniem CO₂ i DAC (rysunek 2.30). W scenariuszu NZE, wykorzystanie CCUS w odniesieniu do paliw kopalnych odpowiada za prawie 70% całkowitego wzrostu CCUS do 2030 r. Jednak perspektywy szybkiego zwiększenia skali CCUS są bardzo niepewne z powodów ekonomicznych, politycznych i technicznych. W niniejszym dokumencie analizujemy implikacje dla osiągnięcia zerowych emisji netto w 2050 roku, jeśli zakres CCUS dla paliw kopalnych nie wyjdzie poza istniejące i planowane projekty.

Rysunek 2.30 ► CCUS według sektorów i źródeł emisji w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Emisje z paliw kopalnych będą odpowiadać prawie 70% całkowitego wychwytywania CO₂ w 2030 r. i prawie 50% w 2050 r.

Wyjaśnienie: DAC = bezpośrednie wychwytywanie z powietrza.

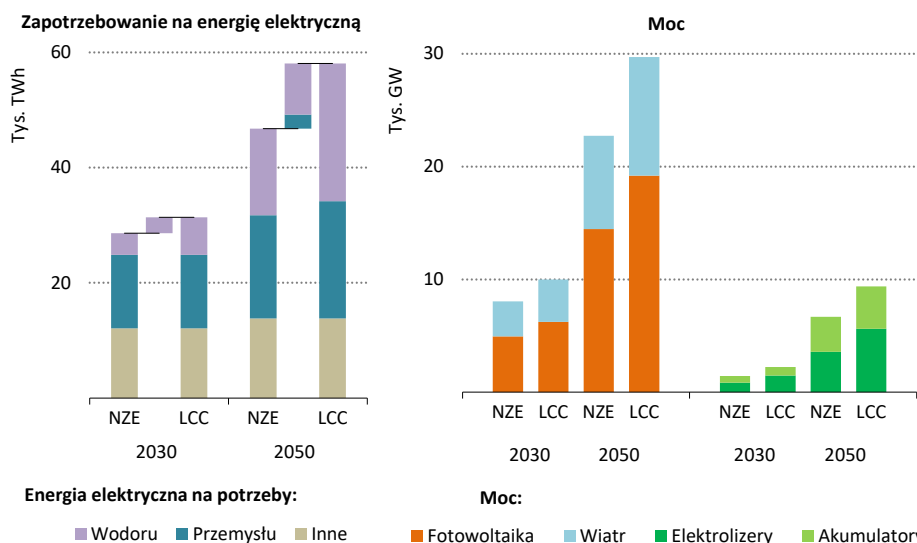
Czy osiągnięcie zerowych emisji netto do 2050 roku jest możliwe bez CCUS dla paliw kopalnych?

Zastosowania CCUS dla paliw kopalnych obejmują w scenariuszu NZE większość nowych projektów CCUS do 2030 r. Projekty te przyczyniają się do zmniejszenia ryzyka dla innych zastosowań CCUS niezwiązanych z paliwami kopalnymi, które są niezbędne do osiągnięcia zerowych emisji netto. Mając na uwadze wyzwania, jakie stoją przed projektami związanymi z CCUS dla paliw kopalnych, opracowaliśmy *Casus Niskiego Wykorzystania CCUS (LCC)* w

którym nie powstaną żadne nowe projekty związane z CCUS dla paliw kopalnych poza tymi, które są już w budowie lub zostały zatwierdzone do realizacji. W scenariuszu LCC emisje CO₂ wychwytywane z paliw kopalnych wynoszą jedynie około 150 Mt w 2050 r., w porównaniu z 3 600 Mt w 2050 r. przewidzianych w scenariuszu NZE.

W przemyśle brak nowych projektów CCUS dla paliw kopalnych spowoduje 1,2 Gt dodatkowych emisji CO₂ w 2050 r. w porównaniu ze scenariuszem NZE. W celu wyeliminowania tych emisji konieczne byłoby zastosowanie alternatywnych technologii, tak aby do 2050 r. osiągnąć zerowy poziom emisji netto. Konieczne byłoby zastosowanie szeregu technologii znajdujących się na etapie prototypu, takich jak elektryczne piece cementowe czy elektryczne krakery parowe do produkcji chemikaliów o dużej wartości (zob. Ramka 2.4). Przy założeniu, że technologie te mogłyby zostać zademonstrowane i wdrożone na szeroką skalę, spowodowałyby to wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną o około 2 400 TWh oraz zapotrzebowania na wodór w przemyśle o około 45 Mt w 2050 r. Konieczne byłoby również zastąpienie 145 Mt wodoru, który w scenariuszu NZE jest wytwarzany z paliw kopalnych w obiektach wyposażonych w systemy CCUS. Uzyskanie 190 Mt wodoru w procesie elektrolizy wymagałoby w 2050 r. dodatkowych 2 000 GW mocy elektrolizerów (prawie 60% więcej niż w scenariuszu NZE) oraz dodatkowych 9 000 TWh energii elektrycznej (Rysunek 2.31).

Rysunek 2.31 ▶ Skutki osiągnięcia zerowych emisji netto do roku 2050 bez zwiększenia wykorzystania CCUS dla paliw kopalnych



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Brak wprowadzenia CCUS dla paliw kopalnych znacznie zwiększyłby zapotrzebowanie na energię elektryczną i wymagałoby znacznie większych mocy elektrowni słonecznych, wiatrowych i elektrolizerów

Wyjaśnienie: LCC = Przypadek Niskiego Wykorzystania CCUS, w którym CCUS dla paliw kopalnych jest ograniczone do projektów będących obecnie w budowie lub zatwierdzonych do realizacji.

Ramka 2.4 ► Innowacje technologiczne w scenariuszu NZE

Innowacyjność jest kluczem do rozwoju nowych technologii czystej energii i udoskonalania istniejących. Znaczenie innowacji będzie wzrastać wraz ze zbliżaniem się do roku 2050, ponieważ istniejące technologie nie będą w stanie w pełni zagwarantować osiągnięcia zerowego poziomu emisji netto. Prawie 50% redukcji emisji potrzebnej do 2050 r. w scenariuszu NZE zależy od technologii, które są na etapie prototypu lub demonstracji, tj. nie są jeszcze dostępne na rynku (zob. Rozdział 4).

Po tym jak nowy pomysł przejdzie drogę od deski kreślarskiej do laboratorium i w świat, mają miejsce cztery kluczowe etapy w procesie innowacji w zakresie czystej energii (IEA, 2020d). Jednak droga innowacji do dojrzałości może być długa, a sukces nie jest gwarantowany.

- **Prototyp.** Koncepcja przemienia się w projekt, a następnie w prototyp nowego urządzenia, np. pieca, który wytwarza stal przy użyciu czystego wodoru zamiast węgla.
- **Demonstracja.** Pierwsze przykłady nowej technologii są wprowadzane w pełnej skali urządzenia oferowanego do sprzedaży, np. system wychwytyjący emisje CO₂ z cementowni.
- **Wprowadzenie na rynek.** Technologia jest wprowadzana na wiele rynków. Jednak jej koszt i parametry użytkowe różnią się od poprzednich technologii (np. elektrolizery do produkcji wodoru), albo jest ona konkurencyjna, ale nadal istnieją bariery, takie jak integracja z istniejącą infrastrukturą lub preferencje konsumentów, uniemożliwiające osiągnięcie przez tę technologię pełnego potencjału rynkowego (np. pompy ciepła). W obu przypadkach konieczne jest wdrożenie polityk stymulujących szersze rozpowszechnianie technologii w celu zmniejszenia kosztów i usunięcia istniejących barier, przy czym większa część kosztów i ryzyka powinna być stopniowo ponoszona przez sektor prywatny.
- **Dojrzałość.** Technologia osiągnęła stabilność rynkową, a nowa sprzedaż lub instalacje utrzymują się na stałym poziomie lub nawet maleją w niektórych środowiskach, ponieważ nowsze technologie zaczynają konkurować z istniejącymi obiektami, np. turbinami wodnymi.

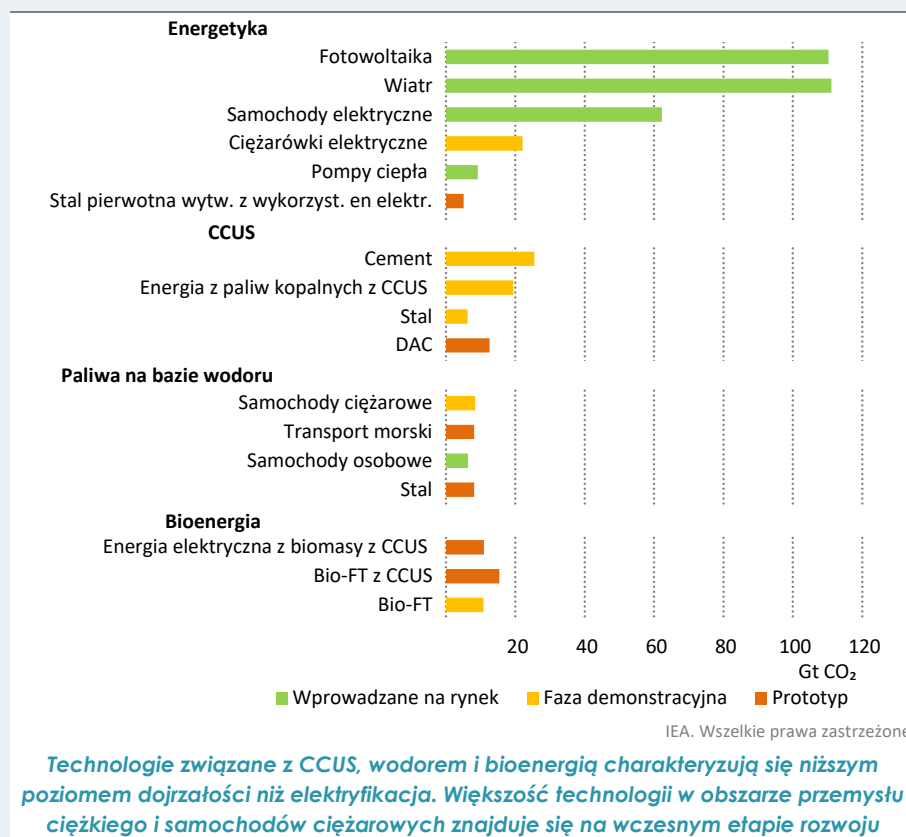
W scenariuszu NZE innowacyjność ma kluczowe znaczenie, ponieważ umożliwia wprowadzanie nowych technologii na rynek oraz udoskonalanie pojawiających się technologii, w tym w obszarze elektryfikacji, CCUS, wodoru i zrównoważonej bioenergii. Stopień zależności od innowacji w scenariuszu NZE jest różny w różnych sektorach i na różnych etapach łańcuchów wartości (Rysunek 2.32).

- **Elektryfikacja.** Prawie 30% ze 170 Gt CO₂ skumulowanej redukcji emisji wynikającej z zastosowania niskoemisyjnej energii elektrycznej w scenariuszu NZE pochodzi z technologii, które są obecnie na etapie prototypu lub demonstracji, takich jak produkcja stali pierwotnej z wykorzystaniem energii elektrycznej czy elektryczne samochody ciężarowe.
- **Wodór.** Nie wszystkie etapy łańcucha wartości dla niskoemisyjnego wodoru są obecnie dostępne na rynku. Większość technologii, w których występuje

zapotrzebowanie na wodór, takich jak produkcja stali, znajduje się dopiero na etapie demonstracji lub prototypu. Odpowiadają one za ponad 75% skumulowanej redukcji emisji w scenariuszu NZE związanych z wodorem.

- **CCUS.** Około 55% łącznej redukcji emisji wynikającej z zastosowania CCUS w scenariuszu NZE pochodzi z technologii, które są obecnie na etapie demonstracji lub prototypu. Wychwytywanie CO₂ jest stosowane od dziesięcioleci w niektórych procesach przemysłowych i procesach przetwarzania paliw, takich jak produkcja amoniaku i przetwarzanie gazu ziemnego, jednak w wielu innych możliwych zastosowaniach jest ono nadal na etapie demonstracji na dużą skalę.
- **Bioenergia.** Około 45% skumulowanej redukcji emisji w scenariuszu NZE związanej ze zrównoważoną bioenergią pochodzi z technologii, które są obecnie na etapie demonstracji lub prototypu, głównie w obszarze produkcji biopaliw.

Rysunek 2.32 ▶ Skumulowana redukcja emisji CO₂ dla wybranych technologii według kategorii dojrzałości w scenariuszu NZE



Wyjaśnienie: Bio-FT = gazyfikacja biomasy z syntezą Fischera-Tropscha. Poziomy dojrzałości to projekty technologii na najbardziej zaawansowanym etapie.

W scenariuszu NZE, w sektorze energii elektrycznej konieczne byłoby wyprodukowanie dodatkowych 11 300 TWh energii elektrycznej na potrzeby przemysłu i przetwarzania paliw oraz zastąpienie praktycznie całej energii elektrycznej wytwarzanej w 2050 r. w elektrowniach zasilanych paliwami kopalnymi wyposażonych w CCUS. Przy wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii wymagałoby to dodatkowych 7 000 GW mocy w obszarze energii wiatrowej i fotowoltaicznej w 2050 r. Jest to o około 30% więcej niż przewidziano w scenariuszu NZE i oznaczałoby to, że roczny przyrost mocy instalacji fotowoltaicznych i wiatrowych w 2030 r. musiałby wynieść 1 300 GW (300 GW więcej niż w scenariuszu NZE). Aby zapewnić ten dodatkowy poziom zmiennych źródeł odnawialnych i zapewnić elastyczność dostępną w elektrowniach z systemami CCUS dla paliw kopalnych w scenariuszu NZE, w 2050 r. potrzebne byłoby około 660 GW mocy w akumulatorach (20% więcej niż przewidziano w scenariuszu NZE w 2050 r.), a także dodatkowe 110 GW innej mocy dyspozycyjnej.

Zmniejszenie tempa dodawania CCUS w istniejących elektrowniach węglowych i gazowych w scenariuszu LCC również zwiększyłoby ryzyko wystąpienia aktywów osieroconych. Szacujemy, że w 2030 może dojść do osierocenia istniejących obiektów opalanych węglem i gazem o wartości do 90 mld USD, a do 2050 r. nawet 400 mld USD. Inwestycje w CCUS dla paliw kopalnych w scenariuszu NZE do 2050 r. wyniosą około 650 mld USD, czego w scenariuszu LCC można by uniknąć. Jednak w celu wsparcia tego wyższego poziomu wdrożenia w scenariuszu LCC konieczne są dodatkowe inwestycje w dodatkowe moce w obszarze energii wiatrowej, fotowoltaicznej i elektrolizerów, w bazujące na energii elektrycznej technologie stosowane w przemyśle ciężkim oraz w rozbudowę sieci elektroenergetycznych i magazynowanie energii. W rezultacie dodatkowe skumulowane inwestycje mające na celu osiągnięcie zerowych emisji netto w 2050 r. w scenariuszu LCC są o 15 bilionów USD wyższe niż w scenariuszu NZE.

Brak opracowania technologii CCUS dla paliw kopalnych prawdopodobnie opóźniłby lub uniemożliwił rozwój innych zastosowań CCUS. Bez CCUS dla paliw kopalnych zmniejszyłaby się liczba użytkowników oraz wielkość infrastruktury do transportu i składowania CO₂ wokół klastrów przemysłowych. Dostępnych byłoby mniej podmiotów i bardziej ograniczony kapitał do pokrycia wysokich kosztów początkowych infrastruktury, jak również innych ryzyk związanych z początkowym wprowadzaniem klastrów infrastruktury związanej z CCUS. Ponadto korzyści płynące z rozwoju technologii CCUS dla paliw kopalnych, takie jak uczenie się i redukcja kosztów, byłyby mniejsze, co zmniejszyłoby prawdopodobieństwo udanej demonstracji i zwiększenia skali powstających technologii tego typu. Opóźnienie w rozwoju innych technologii CCUS miałooby poważny wpływ na perspektywę osiągnięcia zerowych emisji netto w 2050 r. Dla przykładu, CCUS jest jedyną skalowalną niskoemisyjną możliwością w zakresie usuwania CO₂ z atmosfery i prawie całkowitego wyeliminowania emisji przy produkcji cementu. Jeżeli postęp w zakresie tych technologii opóźni się i nie będzie można ich wdrożyć na dużą skalę, osiągnięcie zerowych emisji netto do 2050 r. będzie znacznie trudniejsze.

Ścieżki sektorowe prowadzące do zerowych emisji netto do 2050 r.

P O D S U M O W A N I E

- W scenariuszu zerowych emisji netto (NZE) zużycie paliw kopalnych drastycznie spadnie do roku 2050, a nowe złoża ropy naftowej i gazu ziemnego nie będą potrzebne, z wyjątkiem tych, które już zostały zatwierdzone do eksploatacji. Nie będą potrzebne nowe kopalnie węgla ani rozbudowa kopalń istniejących. Paliwa niskoemisyjne – biogazy, wodór i paliwa na bazie wodoru – odnotują szybki wzrost. W 2050 r. będą one odpowiadać za prawie 20% energii końcowej na świecie, w porównaniu z 1% w 2020 r. W 2050 r. wyprodukowanych zostanie ponad 500 Mt niskoemisyjnego wodoru, z czego około 60% przy zastosowaniu elektrolizy, która w 2050 r. będzie zapewniać 20% światowej produkcji energii elektrycznej. Biopaliwa płynne stanowić będą 45% paliwa lotniczego zużywanego na całym świecie w 2050 r.
- Zapotrzebowanie na energię elektryczną w scenariuszu NZE będzie rosnać w szybkim tempie, zwiększając się o 40% od dnia dzisiejszego do 2030 r. i ponad dwukrotnie do 2050 r., podczas gdy emisje związane z wytwarzaniem energii spadną w gospodarkach rozwiniętych do poziomu zerowego netto do 2035 r. i globalnie do 2040 r. Siłę napędową tej transformacji stanowić będą odnawialne źródła energii, których udział w wytwarzaniu energii wzrośnie z 29% w 2020 r. do 60% w 2030 r. i prawie 90% w 2050 r. W latach 2030-2050 każdego roku moc instalacji fotowoltaicznych rosnąć będzie o 600 GW, a moc farm wiatrowych – o 340 GW. Najmniej wydajne elektrownie węglowe zostaną wycofane z eksploatacji do 2030 r., a wszystkie elektrownie węglowe bez systemów redukujących emisje – do 2040 r. Inwestycje w sieci energetyczne wzrosną trzykrotnie do 2030 r. i pozostaną na wysokim poziomie do 2050 r.
- W przemyśle emisje spadną o 20% do 2030 r. i o 90% do 2050 r. Około 60% redukcji emisji w przemyśle ciężkim w 2050 r. w scenariuszu NZE zostanie osiągnięte dzięki technologiom, które nie są jeszcze gotowe do wprowadzenia na rynek: wiele z nich wykorzystuje wodór lub CCUS. Od 2030 r. wszystkie nowe moce produkcyjne w przemyśle będą emitować prawie zero zanieczyszczeń. Każdego miesiąca od 2030 r. na świecie 10 nowych i istniejących zakładów przemysłu ciężkiego będzie wyposażonych w systemy CCUS oraz dodawane będą 3 nowe zakłady przemysłowe wykorzystujące wodór i 2 GW mocy elektrolizerów w obiektach przemysłowych.
- W transporcie emisje spadną o 20% do 2030 r. i o 90% do 2050 r. Początkowo działania będą koncentrować się na zwiększeniu operacyjnej i technicznej efektywności systemów transportowych, zmianach środków transportu i elektryfikacji transportu drogowego. Do 2030 r. samochody elektryczne będą stanowić ponad 60% wszystkich sprzedawanych samochodów (4,6% w 2020 r.), a

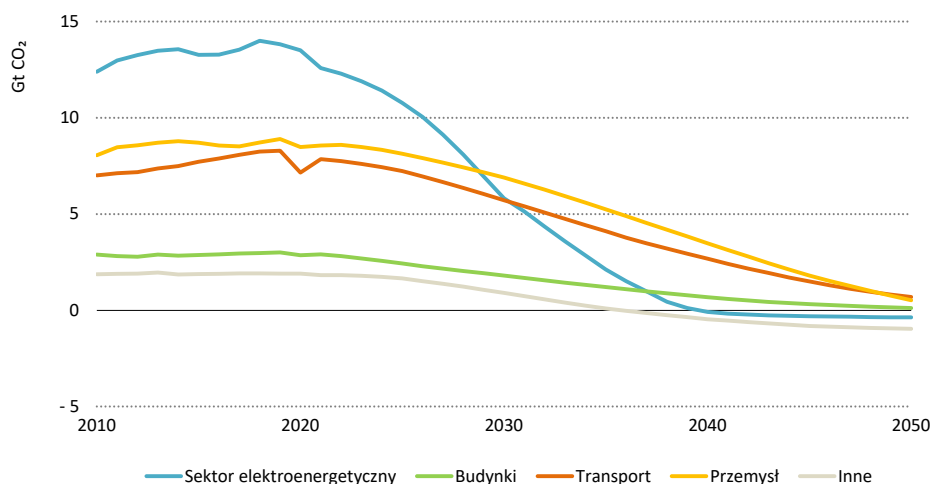
pojazdy napędzane ogniwami paliwowymi lub pojazdy elektryczne będą stanowić 30% sprzedawanych samochodów ciężarowych (mniej niż 0,1% w 2020 r.). Do 2035 r. prawie wszystkie samochody sprzedawane na świecie będą samochodami elektrycznymi, a do 2050 r. prawie wszystkie sprzedawane duże samochody ciężarowe będą mieć napęd bazujący na ogniwach paliwowych lub napęd elektryczny. Paliwa niskoemisyjne i zmiany zachowań będą pomagać w ograniczeniu emisji w transporcie na dużych odległościach, ale lotnictwo i transport morski nadal stanowić będą wyzwanie i będą odpowiadać za 330 Mt emisji CO₂ w 2050 r.

- W budynkach emisje spadają o 40% do 2030 r. i o ponad 95% do 2050 r. Do 2030 r. około 20% istniejących zasobów budowlanych na świecie zostanie zmodernizowanych, a wszystkie nowe budynki będą spełniać normy budynków przystosowanych do zerowej emisji dwutlenku węgla. Do 2025 r. w gospodarkach rozwiniętych, a do połowy lat 2030. na całym świecie, ponad 80% sprzedawanych urządzeń będzie najbardziej efektywnymi modelami. Od 2025 r. nie będą sprzedawane żadne nowe kotły na paliwa kopalne, chyba że będą one kompatybilne z wodorem, a sprzedaż pomp ciepła gwałtownie wzrośnie. Do 2050 r. energia elektryczna będzie pokrywać 66% zużycia energii w budynkach (33% w 2020 r.). Zużycie gazu ziemnego do ogrzewania spadnie o 98% w okresie do 2050 r.

3.1 Wprowadzenie

Scenariusz zerowych emisji netto do roku 2050 (NZE) zakłada bezprecedensową transformację globalnego systemu energetycznego pod względem tempa i zakresu. W niniejszym rozdziale przyjrzymy się temu, w jaki sposób przekształcane będą główne sektory, a także jakie wiążą się z tym konkretne wyzwania i możliwości (Rysunek 3.1). W rozdziale tym omówiono podaż paliw kopalnych i niskoemisyjnych, wytwarzanie energii elektrycznej oraz trzy główne sektory końcowego wykorzystania energii: przemysł, transport i budynki. Dla każdego sektora określono kluczowe etapy rozwoju technologii i infrastruktury, od których zależy pomyślna realizacja scenariusza NZE. W dalszej części omawiamy, jakie kluczowe decyzje polityczne należy podjąć i do kiedy, aby zrealizować te etapy. Mając świadomość, że nie istnieje jedna ścieżka prowadząca do osiągnięcia zerowych emisji netto do 2050 r. oraz że istnieje wiele niewiadomych związanych z przemianami w zakresie czystej energii, w niniejszym rozdziale badamy również skutki rezygnacji z określonych paliw, technologii lub możliwości redukcji emisji w ramach przeprowadzanej transformacji oraz w sektorach końcowego wykorzystania energii.

Rysunek 3.1 ▶ Emisje CO₂ według sektorów w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Emisje będą spadać najszybciej w sektorze energii elektrycznej, a w transporcie, budynkach i przemyśle będzie następować stały spadek do 2050 r. Redukcja emisji będzie ułatwiona dzięki większej dostępności paliw niskoemisyjnych

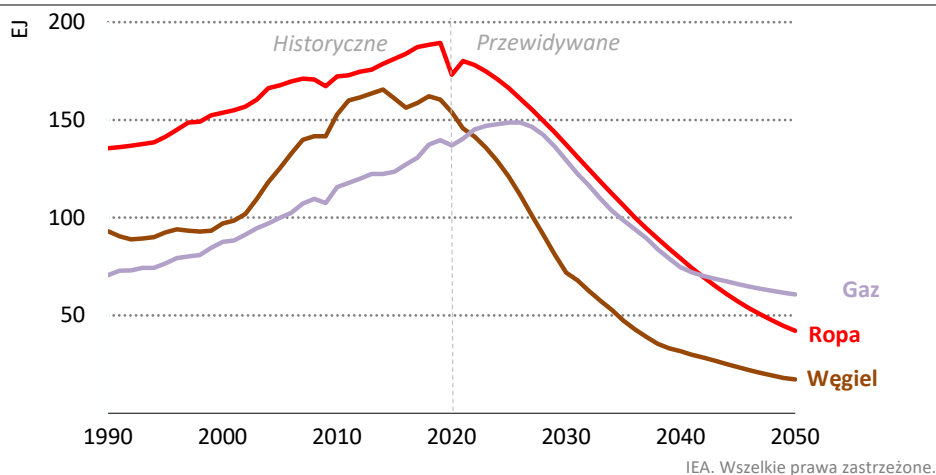
Wyjaśnienie: Inne = rolnictwo, produkcja paliw, przetwarzanie i powiązane z nim emisje technologiczne oraz bezpośrednie wychwytywanie z powietrza.

3.2 Podaż paliw kopalnych

3.2.1 Trendy energetyczne w scenariuszu zerowych emisji netto (NZE)

Zużycie węgla spadnie z 5 250 mln ton ekwiwalentu węgla (Mtce) w 2020 r. do 2 500 Mtce w 2030 r. i do mniej niż 600 Mtce w 2050 r. Nawet przy coraz szerszym zastosowaniu technologii wychwytywania, wykorzystania i składowania dwutlenku węgla (CCUS), zużycie węgla w 2050 r. będzie o 90% niższe niż w 2020 r. (Rysunek 3.2). Popyt na ropę naftową nigdy nie wróci do szczytowego poziomu z 2019 r. i spadnie z 88 mln baryłek dziennie (mb/d) w 2020 r. do 72 mb/d w 2030 r. i 24 mb/d w 2050 r., co oznacza spadek w latach 2020-2050 o prawie 75%. Zużycie gazu ziemnego szybko wzrośnie po spadku popytu w 2020 r. i będzie rosło do połowy lat 2020, osiągając maksimum na poziomie około 4 300 mld metrów sześciennych (mld m³), po czym spadnie do 3 700 mld m³ w 2030 r. i 1 750 mld m³ w 2050 r. Do roku 2050 zużycie gazu ziemnego będzie o 55% niższe niż w roku 2020.

Rysunek 3.2 ▸ Wydobycie węgla, ropy naftowej i gazu ziemnego w scenariuszu NZE



**W latach 2020-2050 zapotrzebowanie na węgiel spadnie o 90%,
na ropę naftową o 75%, a na gaz ziemny o 55%**

Ropa naftowa

Krzywa zapotrzebowania na ropę naftową w scenariuszu NZE oznacza, że nie jest konieczne prowadzenie poszukiwań nowych zasobów, a poza złożami już zatwierdzonymi do eksploatacji nie są potrzebne nowe złoża. Konieczne są jednak dalsze inwestycje w istniejące źródła wydobycia ropy naftowej. W latach 2020-2050 zapotrzebowanie na ropę naftową w scenariuszu NZE będzie spadać średnio o ponad 4% rocznie. Gdyby wszystkie inwestycje kapitałowe w eksploataowane pola naftowe zostały natychmiast wstrzymane, doprowadziłoby to do spadku podaży o ponad 8% rocznie. Gdyby kontynuowano inwestycje w eksploataowane pola, ale nie rozwijano nowych pól, wówczas średni roczny spadek podaży wyniósłby około 4,5% (Rysunek 3.3). Różnica jest kompensowana przez pola, które są już zatwierdzone do eksploatacji.

Dynamika ta znajduje odzwierciedlenie w cenie ropy w scenariuszu NZE, która spadnie do około 35 USD za baryłkę w 2030 r. i 25 USD za baryłkę w 2050 r. Takie zmiany cen są w dużej mierze zdeterminowane przez koszty operacyjne obecnie eksploataowanych pól, a jedynie bardzo niewielka część istniejących mocy produkcyjnych musiałaby zostać zamknięta. Jednak w scenariuszu NZE dochód z wydobycia ropy naftowej we wszystkich krajach jest znacznie niższy niż w ostatnich latach¹ i przewiduje się znaczny kapitał osierocony i wartość osieroconą². Cena

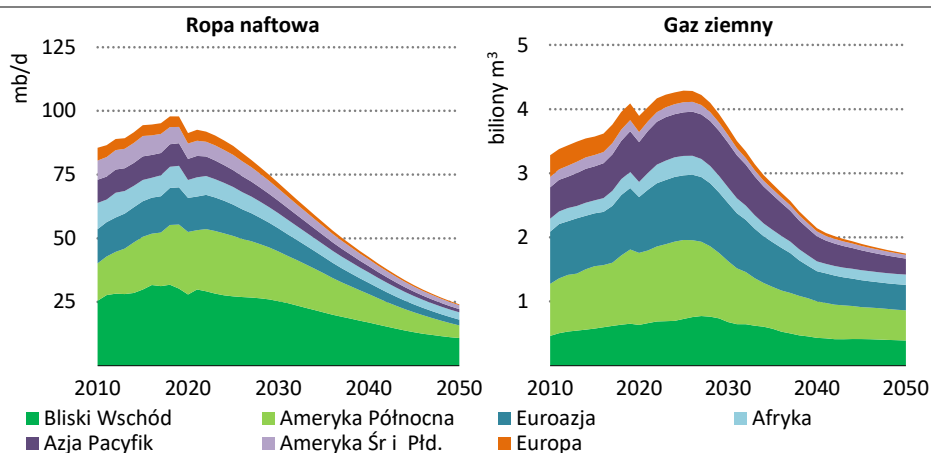
¹ Rządy mogą również obniżyć lub zlikwidować podatki od wydobycia, aby zapewnić koszty produkcji niższe od ceny ropy naftowej w celu utrzymania produkcji krajowej.

² Kapitał osierocony to inwestycje kapitałowe w infrastrukturę paliw kopalnych, dla których nie następuje zwrot w okresie eksploatacji aktywów ze względu na zmniejszony popyt lub obniżone ceny wynikające z polityki klimatycznej. Wartość osieroconą stanowi zmniejszenie przyszłych przychodów generowanych przez składnik aktywów lub właściciela aktywów oceniane w danym momencie, z powodu zmniejszonego popytu lub obniżonych cen wynikających z polityki klimatycznej (IEA, 2020a).

ropy naftowej w scenariuszu NZE byłaby w zasadzie wystarczająca do pokrycia kosztów zagospodarowania nowych pól w przypadku producentów o najniższych kosztach, w tym producentów na Bliskim Wschodzie, ale zakłada się, że główni posiadacze zasobów nie będą dokonywać inwestycji w nowe pola, ponieważ spowodowałoby to znaczną dodatkową presję na obniżenie cen.

W scenariuszu NZE również sektor rafineryjny stoi w obliczu poważnych wyzwań. Znacząco spadnie przerób rafinerii i następują istotne zmiany w popycie na produkty. Wraz z szybką elektryfikacją parku samochodowego nastąpi znaczny spadek zapotrzebowania na tradycyjne produkty rafinowane, takie jak benzyna i olej napędowy, przy jednoczesnym wzroście zapotrzebowania na produkty niepodlegające spalaniu, takie jak produkty petrochemiczne. W ostatnich latach około 55% zapotrzebowania na ropę naftową przypadało na benzynę i olej napędowy, ale w 2050 r. udział ten spadnie do mniej niż 15%, natomiast udział etanu, ciężkiej benzyny i gazu płynnego (LPG) wzrośnie z 20% w ostatnich latach do prawie 60% w 2050 r. Zmiana ta uwydatni spadek zapotrzebowania na ropę naftową dla rafinerii, a w latach 2020-2050 produkcja rafinerii spadnie o 85%. Rafinerie są przyzwyczajone do radzenia sobie ze zmieniającą się strukturą popytu, ale skala zmian przewidzianych w scenariuszu NZE nieuchronnie doprowadzi do zamknięcia rafinerii, zwłaszcza tych, które nie są w stanie skoncentrować się przede wszystkim na działalności petrochemicznej lub produkcji biopaliw.

Rysunek 3.3 ▶ Wydobycie ropy naftowej i gazu ziemnego w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Nie będą potrzebne nowe złoża ropy naftowej i gazu ziemnego poza tymi, które zostały już zatwierdzone do eksploatacji. Podaż będzie coraz bardziej skoncentrowana w głównych krajach produkujących

Gaz ziemny

W scenariuszu NZE nie będą potrzebne żadne nowe złoża gazu ziemnego poza tymi, które są już eksploatowane. Niepotrzebne będą również liczne instalacje do skraplania gazu ziemnego (LNG), które są obecnie w budowie lub na etapie planowania. W latach 2020-2050 obrót gazem ziemnym w postaci LNG spadnie o 60%, a obrót poprzez gazociągi o 65%. W latach 2030. światowe zapotrzebowanie na gaz ziemny będzie spadać średnio o ponad 5% rocznie, co oznacza, że niektóre złoża mogą zostać przedwcześnie zamknięte lub czasowo wyłączone z eksploatacji. Tempo spadku zapotrzebowania na gaz ziemny zmaleje po 2040 r., a w 2050 r. ponad połowa globalnego zużycia gazu ziemnego będzie przeznaczona na produkcję wodoru w obiektach z systemami CCUS. Duży udział wodoru, również produkowanego metodą elektrolizy, oraz biometanu w scenariuszu NZE oznacza, że spadek całkowitej ilości paliw gazowych będzie bardziej umiarkowany niż spadek ilości gazu ziemnego. Ma to istotne implikacje dla przyszłości przemysłu gazowego (zob. Rozdział 4).

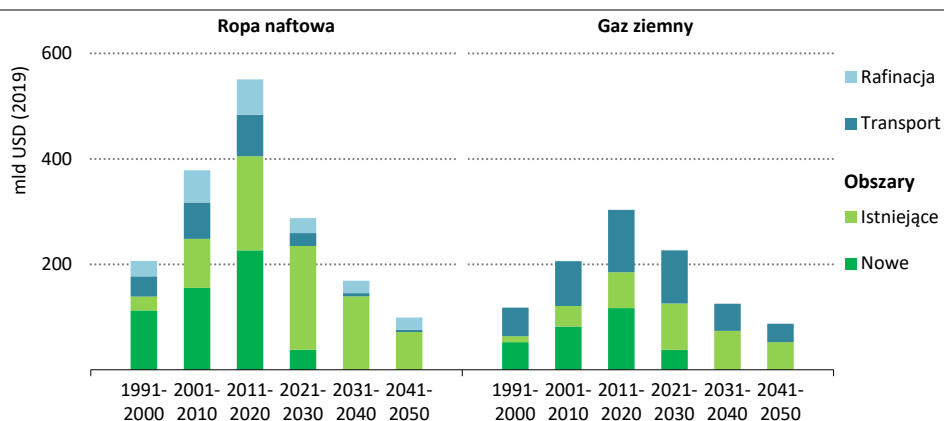
Węgiel

W scenariuszu NZE nie są potrzebne nowe kopalnie węgla ani rozbudowa istniejących, ponieważ zapotrzebowanie na węgiel gwałtownie spadnie. Popyt na węgiel koksujący będzie spadać w nieco mniejszym tempie niż popyt na węgiel energetyczny, ale istniejące źródła produkcji wystarczą do pokrycia zapotrzebowania do 2050 r. Taki spadek popytu na węgiel będzie mieć poważne konsekwencje dla zatrudnienia w regionach górniczych (zob. Rozdział 4). W latach 2040. nastąpi spowolnienie tempa spadku, ponieważ obiekty produkujące węgiel będą w coraz większym stopniu wyposażone w systemy CCUS: w scenariuszu NZE przewiduje się, że w 2050 r. około 80% węgla będzie produkowane z wykorzystaniem systemów CCUS.

3.2.2 Inwestycje w ropę naftową i gaz ziemny

W latach 2021-2030 inwestycje w wydobycie ropy naftowej i gazu ziemnego w scenariuszu NZE wyniosą średnio około 350 mld USD rocznie (Rysunek 3.4). Jest to poziom zbliżony do poziomu odnotowanego w 2020 r., ale o około 30% niższy niż średnie poziomy w poprzednich pięciu latach. Po rozpoczęciu produkcji na złożach będących w fazie zagospodarowania, wszystkie inwestycje w wydobycie w scenariuszu NZE będą mieć na celu wsparcie działalności na złożach istniejących; po 2030 r. łączne inwestycje w wydobycie wyniosą około 170 mld USD rocznie.

Rysunek 3.4 ▸ Inwestycje w dostawy ropy naftowej i gazu ziemnego w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Po rozpoczęciu eksploatacji złóż będących w fazie zagospodarowania, wszystkie inwestycje w wydobywaniu ropy naftowej i gazu ziemnego będą miały na celu utrzymanie produkcji na istniejących złóżach

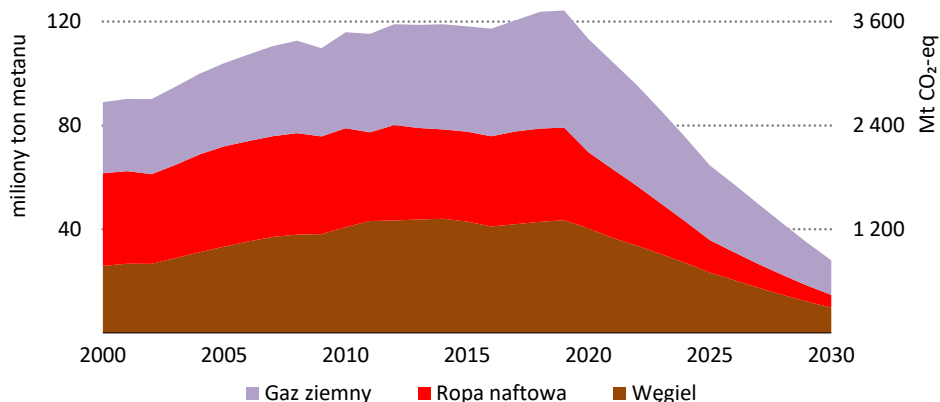
Wyjaśnienie: Inwestycje w nowe pola w latach 2021-2030 dotyczyć będą projektów, które są już w trakcie budowy lub zostały zatwierdzone.

3.2.3 Emisje z produkcji paliw kopalnych

W scenariuszu NZE emisje z łańcuchów dostaw węgla, ropy naftowej i gazu ziemnego będą drastycznie spadać. Średnia globalna intensywność emisji gazów cieplarnianych przy produkcji ropy naftowej wynosi obecnie nieco poniżej 100 kilogramów ekwiwalentu dwutlenku węgla (kg ekwiwalentu CO₂e) na baryłkę. Bez wprowadzenia zmian duża część światowej produkcji stałaby się nieopłacalna, ponieważ ceny CO₂ obejmą cały łańcuch wartości paliw kopalnych. Na przykład do 2030 r. cena CO₂ w rozwiniętych gospodarkach w scenariuszu NZE wyniesie 100 USD za tonę CO₂ (t CO₂), co zwiększyłoby koszt produkcji każdej baryłki o 10 USD przy dzisiejszym średnim poziomie intensywności emisji.

Metan stanowi około 60% emisji z łańcucha dostaw węgla i gazu ziemnego oraz około 35% emisji z łańcucha dostaw ropy naftowej. W scenariuszu NZE całkowita emisja metanu z paliw kopalnych spadnie o około 75% w latach 2020-2030, co odpowiada zmniejszeniu emisji gazów cieplarnianych o 2,5 gigatony ekwiwalentu dwutlenku węgla (Gt CO₂eq) (Rysunek 3.5). Około jedna trzecia tego spadku będzie wynikiem ogólnego zmniejszenia zużycia paliw kopalnych, ale większa część wynikać będzie z ogromnego wzrostu zastosowania środków i technologii redukcji emisji, co doprowadzi do wyeliminowania wszystkich technicznie możliwych do uniknięcia emisji metanu do 2030 r. (IEA, 2020a).

Rysunek 3.5 ▶ Emisja metanu z wydobycia węgla, ropy naftowej i gazu ziemnego w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Emisje metanu z wydobycia paliw kopalnych spadną o 75% w latach 2020-2030 w wyniku skoordynowanych globalnych wysiłków na rzecz zastosowania wszystkich dostępnych środków i technologii redukcji emisji

Wyjaśnienie: Mt = milion ton.

Działania mające na celu zmniejszenie intensywności emisji w ramach istniejącej działalności związanej z wydobyciem ropy naftowej i gazu ziemnego w scenariuszu NZE doprowadzą do zaprzestania spalania, stosowania systemów CCUS w przypadku scentralizowanych źródeł emisji (w tym w celu wychwytywania naturalnych źródeł CO₂ które często są wydobywane wraz z gazem ziemnym) oraz znacznej elektryfikacji działalności wydobywczej (często z wykorzystaniem pozasieciowych odnawialnych źródeł energii).

Scenariusz NZE nieuchronnie wiąże się z poważnymi wyzwaniem dla przemysłu paliw kopalnych i osób w nim pracujących, ale niesie też ze sobą nowe możliwości. W scenariuszu NZE wydobycie węgla drastycznie spadnie, ale wydobycie minerałów potrzebnych do przejścia na czystą energię bardzo szybko wzrośnie, a wiedza specjalistyczna w zakresie górnictwa będzie prawdopodobnie wysoko ceniona w tym kontekście. Przemysł naftowy i gazowy mógłby odegrać kluczową rolę we wspieraniu rozwoju na skalę masową szeregu technologii czystej energii, takich jak CCUS, niskoemisyjny wodór, biopaliwa i morska energia wiatrowa. Zwiększenie skali tych technologii i obniżenie ich kosztów będzie wymagało dużych możliwości w zakresie inżynierii i zarządzania projektami, które są w dużym stopniu zgodne z możliwościami dużych przedsiębiorstw przemysłu naftowego i gazowego. Kwestie te, w tym pytanie o to, jak pomóc osobom dotkniętym poważnymi zmianami wynikającymi ze scenariusza ZEN, zostały omówione bardziej szczegółowo w rozdziale 4.

3.3 Podaż paliw niskoemisyjnych

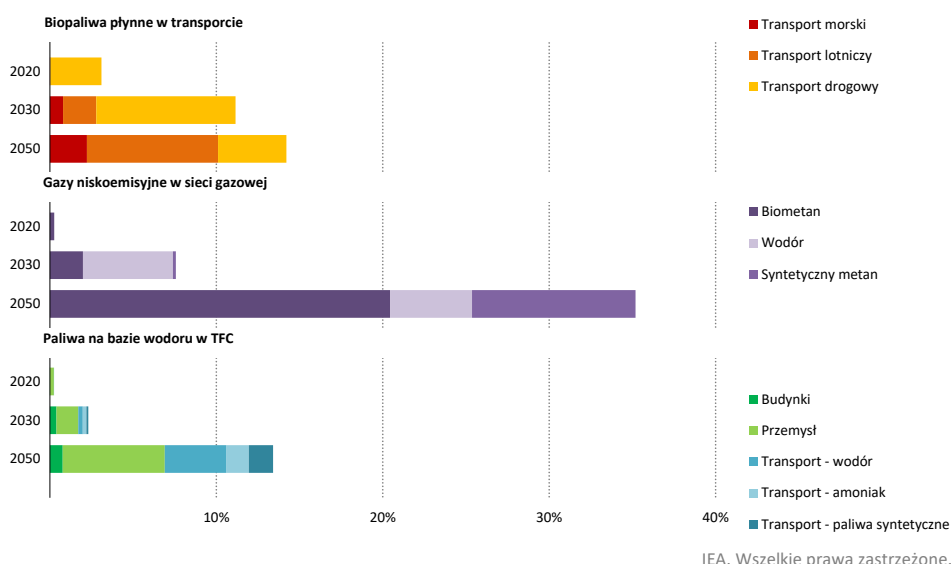
3.3.1 Trendy energetyczne w scenariuszu zerowych emisji netto

Osiągnięcie zerowych emisji netto będzie wymagać zastosowania paliw niskoemisyjnych³ tam, gdzie zapotrzebowanie na energię nie może być łatwo lub ekonomicznie zaspokojone przez energię elektryczną (Rysunek 3.6). Prawdopodobnie będzie tak w przypadku niektórych rodzajów transportu na dużych odległościach (samochody ciężarowe, lotnictwo i transport morski) oraz dostaw ciepła i surowców w przemyśle ciężkim. Niektóre paliwa niskoemisyjne są faktycznie substytutem paliw kopalnych, tzn. są kompatybilne z istniejącą infrastrukturą dystrybucji paliw kopalnych i technologiami ich końcowego wykorzystania oraz wymagają niewielu albo żadnych modyfikacji sprzętu lub pojazdów.

Paliwa niskoemisyjne pokrywają obecnie zaledwie 1% globalnego zapotrzebowania na energię końcową, przy czym w scenariuszu NZE udział ten wzrośnie do 20% w 2050 r. Biopaliwa płynne będą zaspokajać 14% światowego zapotrzebowania na energię w transporcie w 2050 r., w porównaniu z 4% w 2020 r.; paliwa na bazie wodoru będą zaspokajać dalsze 28% zapotrzebowania na energię w transporcie do 2050 r. Gazy niskoemisyjne (biometan, metan syntetyczny i wodór) będą zaspokajać 35% globalnego zapotrzebowania na gaz dostarczany przez sieci w 2050 r., w porównaniu z prawie zerowym poziomem w chwili obecnej. Łączny udział niskoemisyjnego wodoru i paliw na bazie wodoru w całkowitym końcowym zużyciu energii na świecie osiągnie w 2050 r. 13 %. Wodór i amoniak są również ważnymi niskoemisyjnymi źródłami elastyczności systemu energetycznego i w 2050 r. będą zapewniać 2% całkowitej produkcji energii elektrycznej, co wystarczy, aby sektor energii stał się ważnym czynnikiem napędzającym popyt na wodór.

³ Paliwa niskoemisyjne oznaczają biopaliwa płynne, biogaz i biometan oraz paliwa na bazie wodoru (wodór, amoniak i syntetyczne paliwa węglowodorowe), które nie emitują CO₂ pochodzącego z paliw kopalnych bezpośrednio podczas użytkowania, a także emitują jego bardzo niewielkie ilości podczas produkcji. Na przykład wodór produkowany z gazu ziemnego z zastosowaniem systemów CCUS i z wysokimi współczynnikami wychwytywania (90% lub więcej) jest uważany za paliwo niskoemisyjne, jednak jeśli jest produkowany bez zastosowania systemów CCUS, to nie jest za takie paliwo uznawany.

Rysunek 3.6 ► Globalna podaż paliw niskoemisyjnych według sektorów w scenariuszu NZE



Niskoemisyjne paliwa w postaci biopaliw płynnych, biometanu i paliw na bazie wodoru pomogą w dekarbonizacji sektorów, w których bezpośrednia elektryfikacja jest utrudniona

Wyjaśnienie: TFC = całkowite zużycie końcowe. Niskoemisyjne gazy w sieci gazowej oznaczają mieszanie biometanu, wodoru i metanu syntetycznego z gazem ziemnym w sieci gazowej do wykorzystania w budynkach, przemyśle, transporcie i produkcji energii elektrycznej. Paliwa syntetyczne to syntetyczne paliwa węglowodorowe produkowane z wodoru i CO₂. Końcowe zużycie energii dla wodoru obejmuje, oprócz końcowego zużycia energii dla wodoru, amoniaku i syntetycznych paliw węglowodorowych, również produkcję wodoru na miejscu w sektorze przemysłowym.

3.3.2 Biopaliwa⁴

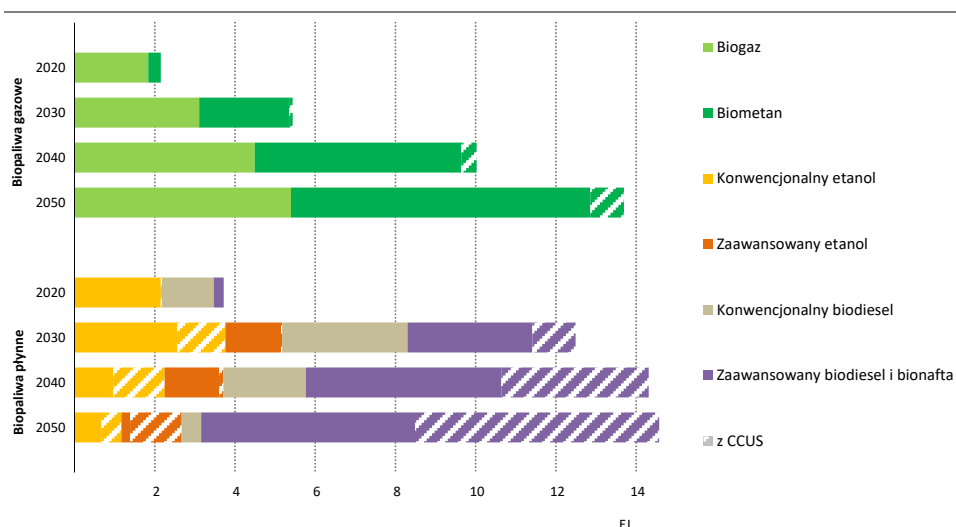
W 2020 r. około 10% globalnej podaży pierwotnej nowoczesnej bioenergii (biomasa z wyłączeniem tradycyjnych zastosowań do gotowania) było wykorzystywane jako biopaliwa płynne w transporcie drogowym, a 6% jako biogazy (biogaz i biometan) do produkcji energii elektrycznej i ciepła, natomiast reszta była bezpośrednio wykorzystana do produkcji energii elektrycznej i ogrzewania w sektorze mieszkaniowym. W scenariuszu NZE nastąpi gwałtowne zwiększenie podaży, przy czym do 2050 r. nastąpi niemal czterokrotny wzrost dla biopaliw płynnych i sześciokrotny dla biogazów.

Wszystkie biopaliwa płynne stosowane w transporcie, z wyjątkiem około 7%, są obecnie wytwarzane z upraw konwencjonalnych, takich jak trzcina cukrowa, kukurydza i soja. Uprawy te bezpośrednio konkurują z gruntami ornymi, które mogą być wykorzystane do produkcji żywności, co ogranicza możliwości zwiększenia produkcji. Dlatego w scenariuszu NZE

⁴ Płyny i gazy produkowane z bioenergii.

większość wzrostu podaży biopaliw pochodzić będzie z zaawansowanych surowców, takich jak odpady i pozostałości oraz drzewiaste rośliny energetyczne uprawiane na gruntach marginalnych i polach uprawnych nienadających się do produkcji żywności (zob. punkt 2.7.2). W scenariuszu NZE w następnej dekadzie szybko rozwijać się będzie zaawansowana technologia produkcji biopaliw płynnych z wykorzystaniem surowców drzewnych, a jej udział w produkcji biopaliw płynnych wzrośnie z poniżej 1% w 2020 r. do prawie 45% w 2030 r. i 90% w 2050 r. (Rysunek 3.7). Do 2030 r. produkcja osiągnie poziom 2,7 mln baryłek ekwiwalentu ropy naftowej dziennie (mboe/d), do czego przyczyni się gazyfikacja biomasy w procesie Fischera-Tropscha (bio-FT) oraz etanol celulozowy, wykorzystywany głównie do produkcji zamienników oleju napędowego i nafty lotniczej typu. Produkcja zaawansowanych biopaliw płynnych wzrośnie o dodatkowe 130% do ponad 6 mboe/d w 2050 r., z czego większość stanowić będzie bionafta.

Rysunek 3.7 ▶ Światowa produkcja biopaliw według rodzaju i technologii w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

W latach 2020-2050 dzięki rozwojowi zrównoważonych łańcuchów dostaw biomasy, produkcja biopaliw płynnych wzrośnie czterokrotnie, a biogazów sześciokrotnie

Wyjaśnienie: EJ = eksadżule; CCUS = wychwytywanie, wykorzystywanie i składowanie dwutlenku węgla. Konwencjonalny etanol oznacza etanol produkowany z wykorzystaniem roślin energetycznych. Zaawansowany etanol oznacza etanol produkowany z wykorzystaniem odpadów i pozostałości oraz niespożywczych roślin energetycznych uprawianych na gruntach marginalnych i nieornych. Konwencjonalny biodiesel zawiera estry kwasów tłuszczowych i estry metylowe (FAME) z roślin energetycznych. Zaawansowany biodiesel powstaje z zastosowaniem opartych na biomase metod Fischera Tropscha i HEFA, które wykorzystują odpady, pozostałości i niespożywcze rośliny energetyczne uprawiane na gruntach marginalnych i nieornych. Biometan obejmuje to biogaz produkowany z zastosowaniem procesów uszlachetniania w wyniku zgazowania biomasy.

Technologie produkcji z wykorzystaniem tych surowców są obecnie w większości przypadków w fazie rozwoju. Obecne moce produkcyjne, głównie etanolu celulozowego, wynoszą około 2,5 tys. baryłek ekwiwalentu ropy naftowej dziennie (kboe/d). W scenariuszu NZE zakłada się, że projekty realizowane obecnie w Japonii, Wielkiej Brytanii i Stanach Zjednoczonych pozwolą na wprowadzenie tych technologii na rynek w ciągu najbliższych kilku lat. Zwiększenie skali wymagane dla wszystkich zaawansowanych biopaliw płynnych (w tym z olejów odpadowych) w ciągu następnej dekady odpowiada budowie jednej biorafinerii o wydajności 55 kboe/d co dziesięć tygodni (największa biorafineria na świecie ma wydajność 28 kboe/d).

W scenariuszu NZE, sektory, do których następować będą dostawy tych biopaliw po 2030 r. zmieniają się radykalnie z pojazdów osobowych i lekkich samochodów ciężarowych, gdzie rośnie tempo elektryfikacji, na ciężki transport drogowy, transport morski i lotnictwo. W transporcie morskim rozpocznie się wykorzystywanie amoniaku. Zaawansowane biopaliwa płynne zwiększą swój udział w światowym rynku paliw lotniczych z 15% w 2030 r. do 45% w 2050 r.

Zaawansowane biopaliwa, takie jak uwodornione estry i kwasy tłuszczowe (HEFA) oraz bio-FT, mogą być (do pewnego stopnia) przetwarzane na różne produkty, od odnawialnego oleju napędowego do bionafty, a istotny wkład mogą mieć również istniejące zakłady produkcji etanolu, zwłaszcza te, które mogą być doposażone w systemy CCUS lub wykorzystywać do produkcji surowce celulozowe.

Podaż biogazów wzrośnie nawet bardziej niż podaż biopaliw płynnych. Ilość biogazów wtłaczanych do sieci gazowych zwiększy się z poziomu poniżej 1% całkowitej ilości gazu w 2020 r. do prawie 20% w 2050 r., zmniejszając intensywność emisji gazu sieciowego. Biometan produkowany będzie głównie poprzez uszlachetnianie biogazu powstałego w wyniku fermentacji beztlenowej surowców takich jak odpady rolnicze, np. obornik, oraz biogenne stałe odpady komunalne, co pozwoli uniknąć emisji metanu, który w przeciwnym razie zostałby uwolniony do atmosfery. Ze względu na rozproszony charakter tych surowców zakłada to budowę w każdym roku tysięcy miejsc załączania i związanych z nimi linii dystrybucyjnych. W scenariuszu NZE, biogaz i biometan będą również wykorzystywane jako czyste paliwa do gotowania oraz do produkcji energii elektrycznej.

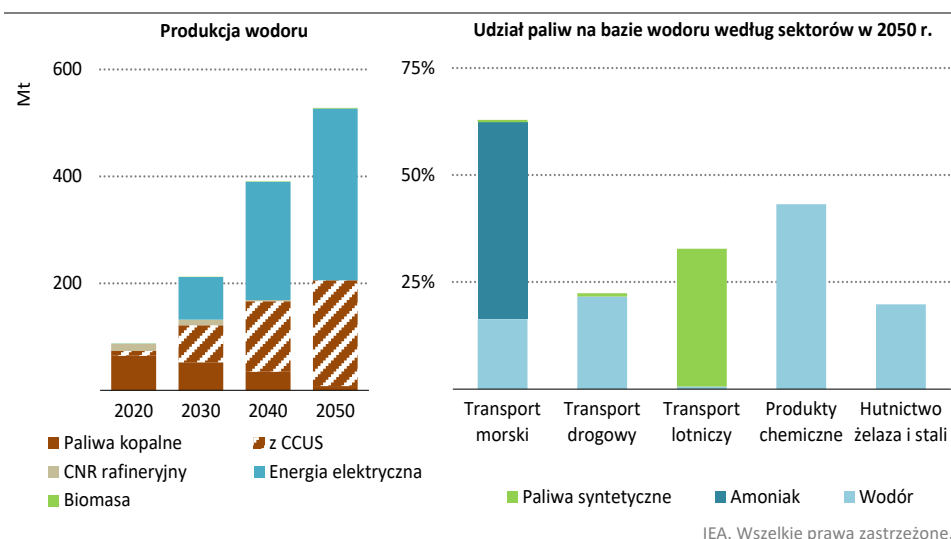
Produkcja biopaliw może być w sposób stosunkowo mało kosztowny połączona z systemami CCUS w niektórych procesach produkcji biopaliw (etanol, bio-FT, uszlachetnianie biogazu), ponieważ stosowane procesy uwalniają bardzo czyste strumienie CO₂. W scenariuszu NZE wykorzystanie biopaliw z CCUS doprowadzi do rocznego usuwania dwutlenku węgla (CDR) w wysokości 0,6 Gt CO₂ w 2050 r., co zrównoważy emisje resztkowe w transporcie i przemyśle.

3.3.3 Wodór i paliwa na bazie wodoru

Wykorzystanie wodoru w sektorze energii jest obecnie w dużej mierze ograniczone do rafinacji ropy naftowej oraz produkcji amoniaku i metanolu w przemyśle chemicznym. Światowe zapotrzebowanie na wodór wyniosło około 90 mln ton (Mt) w 2020 r., przy czym wodór był produkowany głównie z paliw kopalnych (przede wszystkim gazu ziemnego) i spowodowało emisję blisko 900 Mt CO₂. W scenariuszu NZE przewidziano radykalną zmianę zarówno ilości potrzebnego wodoru, jak i sposobu jego produkcji. Zapotrzebowanie wzrośnie prawie

sześciokrotnie do 530 Mt w 2050 r., z czego połowa wykorzystywana będzie w przemyśle ciężkim (głównie w produkcji stali i produktów chemicznych) oraz w sektorze transportu; 30% przetwarzane będzie na inne paliwa na bazie wodoru, głównie amoniak na potrzeby transportu morskiego i produkcji energii elektrycznej, syntetyczną naftę na potrzeby lotnictwa oraz syntetyczny metan wprowadzany do sieci gazowych; natomiast 17% wykorzystywane będzie w elektrowniach gazowych w celu zaspokojenia potrzeb wynikających z rosnącej produkcji energii elektrycznej w instalacjach fotowoltaicznych i wiatrowych oraz zapewnienia sezonowego magazynowania. Ogółem paliwa na bazie wodoru⁵ pokrywać będą w 2050 r. 13% globalnego końcowego zapotrzebowania na energię (Rysunek 3.8).

Rysunek 3.8 ▶ Światowa produkcja wodoru według paliw i zapotrzebowanie na wodór według sektorów w scenariuszu NZE



Do 2050 r. produkcja wodoru wzrośnie sześciokrotnie dzięki elektrolizie wody i gazowi ziemnemu z CCUS, aby sprostać rosnącemu zapotrzebowaniu w transporcie morskim, transporcie drogowym i przemyśle ciężkim

Wyjaśnienie: CNR rafineryjny = wodorowy produkt uboczny katalitycznego reformingu nafty w rafineriach.

Amoniak jest obecnie stosowany jako surowiec w przemyśle chemicznym, ale w scenariuszu NZE będzie również wykorzystywany jako paliwo w różnych zastosowaniach energetycznych, przynosząc korzyści wynikające z niższych kosztów transportu i wyższej gęstości energetycznej niż wodór. Zgodnie ze scenariuszem NZE, w 2050 r. amoniak odpowiadać będzie za około 45% globalnego zapotrzebowania na energię w transporcie morskim. Współspalanie z amoniakiem jest również potencjalną wczesną opcją redukcji emisji CO₂ w

⁵ Paliwa na bazie wodoru definiuje się jako wodór, amoniak oraz syntetyczne paliwa węglowodorowe wytwarzane z wodoru i CO₂.

istniejących elektrowniach węglowych. Toksyczność amoniaku oznacza, że posługiwanie się nim będzie prawdopodobnie ograniczone do profesjonalnie przeszkolonych operatorów, co może ograniczyć jego potencjał.

W scenariuszu NZE nafta syntetyczna będzie zaspokajać około jednej trzeciej światowego zapotrzebowania na paliwo lotnicze w 2050 r. Jej wytwarzanie w zakładach produkcyjnych opalanych materiałami bioenergetycznymi lub biopaliwami wymaga wychwytywania z atmosfery CO₂. CO₂ z tych źródeł można uznać za neutralny pod względem emisji, ponieważ nie powoduje on żadnych emisji netto podczas stosowania paliwa. Istnieje możliwość współprodukcji zaawansowanych biopaliw płynnych i syntetycznych paliw płynnych z wodoru i CO₂, przy czym integracja tych dwóch procesów obniży ogólne koszty produkcji paliw płynnych. Oprócz syntetycznych paliw płynnych, w 2050 r. z wodoru i CO₂ produkowana będzie wystarczająca ilość syntetycznego metanu, aby zaspokoić 10% zapotrzebowania na gaz dostarczany z sieci w budynkach, przemyśle i transporcie.

Do 2050 r. produkcja wodoru w scenariuszu NZE będzie prawie całkowicie oparta na technologiach niskoemisyjnych: elektroliza wody stanowić będzie ponad 60% globalnej produkcji, a gaz ziemny w połączeniu z CCUS – prawie 40%. Światowa moc elektrolizerów osiągnie 850 gigawatów (GW) do 2030 r. i 3 600 GW do 2050 r., w porównaniu z około 0,3 GW obecnie. Elektroliza zużywać będzie blisko 15 000 terawatogodzin (TWh), czyli 20% światowych dostaw energii elektrycznej w 2050 r., w dużej mierze pochodzącej ze źródeł odnawialnych (95%), ale także z energii jądrowej (3%) i paliw kopalnych z CCUS (2%). Zużycie gazu ziemnego do produkcji wodoru przy zastosowaniu CCUS wyniesie 925 mld m³ w 2050 r., czyli około 50% światowego zapotrzebowania na gaz ziemny, przy czym wychwyconych zostanie 1,8 Gt CO₂.

Zwiększenie skali wdrażania technologii i związanych z nimi zdolności produkcyjnych będzie mieć decydujące znaczenie dla obniżenia kosztów. Obecnie na rynku dostępne są elektrolizery wody, a technologie produkcji wodoru z gazu ziemnego z zastosowaniem CCUS została zademonstrowana na skalę komercyjną (na świecie działa siedem zakładów). Wybór pomiędzy tymi dwoma sposobami zależy od czynników ekonomicznych, głównie kosztów gazu ziemnego i energii elektrycznej, oraz od tego, czy dostępne jest składowanie CO₂. W przypadku gazu ziemnego wykorzystywanego z zastosowaniem CCUS, koszty produkcji w scenariuszu NZE wyniosą około 1-2 USD za kilogram wodoru w 2050 r., przy czym koszty gazu stanowią zwykle 15-55% całkowitych kosztów produkcji. W przypadku elektrolizy wody efekty uczenia się i korzyści wynikające ze skali doprowadzą w scenariuszu NZE do obniżenia wymaganych nakładów kapitałowych o 60% do 2030 r. w porównaniu z rokiem 2020. Obniżenie kosztów produkcji będzie zależeć od obniżenia kosztów niskoemisyjnej energii elektrycznej, ponieważ energia elektryczna stanowi 50-85% całkowitych kosztów produkcji, w zależności od źródła energii elektrycznej i regionu. Średni koszt produkcji wodoru ze źródeł odnawialnych spadnie w scenariuszu NZE z 3,5-7,5 USD/kg obecnie do około 1,5-3,5 USD/kg w 2030 r. i 1-2,5 USD/kg w 2050 r. – zasadniczo mniej więcej tyle samo, co koszt produkcji wodoru z gazu ziemnego z wykorzystaniem CCUS.

Przetwarzanie wodoru na inne nośniki energii, takie jak amoniak czy syntetyczne paliwa węglowodorowe, wiąże się z jeszcze wyższymi kosztami. W rezultacie powstają paliwa, które można łatwiej transportować i magazynować, a także które często są kompatybilne z istniejącą infrastrukturą lub technologiami końcowego zastosowania (jak w przypadku amoniaku dla żeglugi lub nafty syntetycznej dla lotnictwa). W przypadku amoniaku dodatkowy etap syntezy zwiększa koszty produkcji o około 15% w porównaniu z wodorem (głównie ze względu na dodatkowe straty przy przetwarzaniu i koszt urządzeń).

Stosunkowo wysoki koszt syntetycznych paliw węglowodorowych wyjaśnia, dlaczego ich stosowanie w scenariuszu NZE jest w dużej mierze ograniczone do lotnictwa, gdzie alternatywne opcje niskoemisyjne są ograniczone. Koszt nafty syntetycznej wynosił 300-700 USD za baryłkę w 2020 r.: chociaż w scenariuszu NZE koszty te spadną do 2050 r. do 130-300 USD za baryłkę w miarę spadku kosztów energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych i kosztu surowców do produkcji CO₂, koszt nafty syntetycznej pozostaje znacznie wyższy niż przewidywany w scenariuszu NZE w 2050 r. koszt 25 USD za baryłkę nafty konwencjonalnej. Dostawy CO₂ wychwytywanego z instalacji przetwarzania surowców bioenergetycznych wyposażonej w systemy CCUS lub w systemach bezpośredniego wychwytywania z powietrza (DAC), potrzebnego do produkcji tych paliw są istotnym elementem kosztowym, odpowiadającym w 2050 r. kwocie 15-70 USD na baryłkę dla syntetycznych paliw węglowodorowych. Zniwelowanie tych różnic w kosztach oznacza konieczność wprowadzenia kar dla nafty będącej paliwem kopalnym lub środków wsparcia dla nafty syntetycznej odpowiadające cenie CO₂ wynoszącej 250-400 USD za tonę.

Rosnące globalne zapotrzebowanie na niskoemisyjny wodór w scenariuszu NZE zapewni krajom możliwość eksportu odnawialnej energii elektrycznej, które w innym przypadku nie mogłyby być eksploatowane. Na przykład Chile i Australia w swoich krajowych strategiach dotyczących wodoru ogłosiły ambicje stania się głównymi eksporterami. Przy malejącym zapotrzebowaniu na gaz ziemny w scenariuszu NZE, kraje produkujące gaz mogłyby dołączyć do tego rynku poprzez eksport wodoru produkowanego z gazu ziemnego z wykorzystaniem systemów CCUS. Transport wodoru na duże odległości jest jednak trudny i kosztowny ze względu na niską gęstość energii, a jego koszt może zwiększyć cenę wodoru o około 1-3 USD/kg. Oznacza to, że w zależności od warunków panujących w danym kraju, produkcja wodoru w kraju może być tańsza niż jego import, nawet jeśli krajowe koszty produkcji z niskoemisyjnej energii elektrycznej lub gazu ziemnego z wykorzystaniem systemów CCUS są stosunkowo wysokie. W scenariuszu NZE handel międzynarodowy nabiera jednak coraz większego znaczenia: w 2050 r. przedmiotem handlu będzie około połowa światowego amoniaku i jedna trzecia syntetycznych paliw płynnych.

3.3.4 Kluczowe etapy i punkty decyzyjne

Tabela 3.1 ► Kluczowe etapy transformacji paliw niskoemisyjnych

Sektor	2020	2030	2050
Bioenergia			
Udział nowoczesnych biopaliw w nowoczesnej bioenergii (z wyłączeniem strat z tytułu przetwarzania)	20%	45%	48%
Zaawansowane biopaliwa płynne (mboe/d)	0,1	2,7	6,2
Udział biometanu w sieciach gazowych ogółem	<1%	2%	20%
CO ₂ wychwytywany i składowany z produkcji biopaliw (Mt CO ₂)	1	150	625
Wodór			
Produkcja (Mt H ₂)	87	212	528
w tym: niskoemisyjny (Mt H ₂)	9	150	520
Wydajność elektrolizerów (GW)	<1	850	3 585
Zapotrzebowanie na energię elektryczną do produkcji związanej z wodorem (TWh)	1	3 850	14 500
CO ₂ wychwycony z produkcji wodoru (Mt CO ₂)	135	680	1 800
Liczba terminali eksportowych w portach do handlu wodorem i amoniakiem	0	60	150

Wyjaśnienie: mboe/d = milion baryłek ekwiwalentu ropy naftowej dziennie; Mt = milion ton; H₂ = wodór.

Biopaliwa

W różnych regionach istnieje kilka ram zrównoważonego rozwoju uwzględniających emisje gazów cieplarnianych netto w cyklu życia produktu oraz inne wskaźniki zrównoważonego rozwoju, np. Dyrektywa w sprawie odnawialnych źródeł energii (RED II) w Unii Europejskiej, RenovaBio w Brazylii oraz normy dla paliw niskoemisyjnych węgla w Kalifornii. Jednak zakres, metodologia i wskaźniki zrównoważonego rozwoju w obrębie tych ram różnią się. Globalny konsensus w sprawie ram i wskaźników zrównoważonego rozwoju osiągnięty w ciągu najbliższych kilku lat pomógłby w stymulowaniu inwestycji; powinno to być priorytetem. Ramy takie powinny obejmować wszystkie formy bioenergii (płynna, gazowa i stała) oraz inne paliwa niskoemisyjne, a także powinny dążyć do ciągłej poprawy wyników w zakresie ochrony środowiska. Najlepiej byłoby, gdyby równolegle opracowywane były systemy certyfikacji.

Innym wczesnym priorytetem dla rządów powinna być jak najszybsza ocena krajowego potencjału w zakresie zrównoważonej biomasy w celu ustalenia ilości i rodzajów odpadów, pozostałości i gruntów marginalnych nadających się do uprawy roślin energetycznych. Prowadzone oceny powinny stanowić podstawę krajowych planów działania dla wszystkich biopaliw płynnych i gazowych oraz strategii dla paliw niskoemisyjnych. W tym kontekście konieczne będą wczesne decyzje dotyczące sposobu wspierania zrównoważonego zbierania odpadów i pozostałości z leśnictwa, rolnictwa, przemysłu zwierzęcego i spożywczego oraz z zaawansowanych systemów sortowania stałych odpadów komunalnych: w scenariuszu NZE środki wsparcia zostaną wprowadzone do 2025 r. Środki te mogłyby z pożytkiem obejmować normy dla paliw niskoemisyjnych, które zachęcałyby do stosowania biopaliw jako surowca.

Międzynarodowa wymiana wiedzy pomogłaby w opracowaniu takich środków i pomogłaby w skutecznym rozpowszechnianiu najlepszych praktyk z regionów, w których istnieją systemy zbierania, np. w odniesieniu do odpadów leśnych w krajach skandynawskich oraz zbierania zużytego oleju kuchennego w Europie, Chinach i krajach Azji Południowo-Wschodniej.

Rządy będą musiały również zdecydować, w jaki sposób najlepiej wspierać instalacje biogazu i jego dystrybucję, aby do 2030 r. odejść od tradycyjnego wykorzystywania biomasy do gotowania i ogrzewania. Takie praktyki są nadal powszechne w niektórych krajach rozwijających się. Problem ten najlepiej rozwiązać w ramach szerszych programów promujących czyste gotowanie, wraz z poprawą dostępu do elektryczności i LPG.

Do 2025 r. konieczne będzie podjęcie decyzji co do tego, w jaki sposób najlepiej stworzyć rynki dla zrównoważonych biopaliw i zniwelować różnicę w kosztach między biopaliwami a paliwami kopalnymi. Konieczne będzie wprowadzenie środków zachęcających do szybkiego rozwoju i stosowania zaawansowanych technologii biopaliw płynnych w sektorach końcowego wykorzystania (w szczególności w dużych pojazdach ciężarowych, transporcie morskim i lotnictwie), z wykorzystaniem mechanizmów takich jak normy dla paliw niskoemisyjnych, nakazy stosowania biopaliw i kredyty za usuwanie CO₂. Środki, które mogłyby przyspieszyć zwiększenie produkcji zaawansowanych biopaliw w ciągu najbliższych czterech lat, obejmują zachęty do współprzetwarzania biooleju w istniejących rafineriach ropy naftowej lub pełnego przekształcenia rafinerii ropy naftowej w biorafinerie; doposażenie zakładów produkcji etanolu w systemy CCUS oraz zintegrowanie produkcji etanolu celulozowego z istniejącymi zakładami produkcji etanolu.

Potrzebna będzie nowa infrastruktura, aby zapewnić wprowadzanie większej ilości biometanu do sieci gazowych oraz transport i składowanie CO₂ wychwyconego z zakładów produkujących biopaliwa na bazie etanolu i bio-FT. Rządy powinny nadać priorytet wspólnej budowie instalacji wzbogacania biogazu i miejsc wprowadzania biometanu do 2030 r., zwracając szczególną uwagę na zminimalizowanie niezorganizowanych emisji biometanu z łańcucha dostaw. Tam, gdzie pozwala na to dostępność biomasy, rządy mogą dostrzec wartość w zachęcaniu do budowy zakładów produkujących biopaliwa z zastosowaniem systemów CCUS w pobliżu istniejących centrów przemysłowych, w których planowane są zintegrowane projekty CCUS, takich jak region Humber w Wielkiej Brytanii.

Paliwa na bazie wodoru

Bezpośrednim priorytetem dla rządów powinna być ocena możliwości i wyzwań związanych z rozwojem niskoemisyjnego przemysłu wodorowego w ramach krajowych strategii lub planów działania dotyczących wodoru. Konieczne będzie podjęcie decyzji, czy wodór będzie produkowany w kraju z wykorzystaniem niskoemisyjnej energii elektrycznej za pomocą elektrolizy wody, czy z gazu z wykorzystaniem systemów CCUS, albo też z połączenia obu tych metod, czy też należy oprzeć się na importowanych paliwach na bazie wodoru. Budowanie wiodącej pozycji technologicznej w łańcuchu dostaw wodoru mogłoby pomóc w tworzeniu miejsc pracy i stymulować wzrost gospodarczy.

W ciągu następnej dekady konieczne będzie podjęcie decyzji, w jaki sposób najlepiej obniżyć koszty niskoemisyjnej produkcji wodoru. Przystawienie istniejącej produkcji wodoru w przemyśle i sektorze rafinacji ropy naftowej z paliw kopalnych wykorzystywanych bez systemów redukcji emisji na wodór niskoemisyjny jest jednym z możliwych sposobów zwiększenia produkcji wodoru niskoemisyjnego w zastosowaniach, w których już występuje duże zapotrzebowanie. Instrumenty wsparcia finansowego, takie jak kontrakty na różnicę, mogłyby pomóc w zmniejszeniu obecnej różnicy pomiędzy kosztem niskoemisyjnej produkcji wodoru a kosztami prowadzonej obecnie produkcji z paliw kopalnych bez systemów redukcji emisji.

Konieczne będą również decyzje dotyczące najlepszego sposobu zwiększenia skali technologii produkcji wodoru. Dobrym punktem wyjścia mogą być porty przemysłowe, ponieważ mogą one zapewnić dostęp do niskoemisyjnego wodoru wytwarzanego z wykorzystaniem morskiej energii wiatrowej lub składowania CO₂. Oferują one również możliwość promowania nowych, związanych z portami zastosowań wodoru, np. w pojazdach transportowych i dostawczych, i mogłyby one stać się pierwszymi węzłami międzynarodowej sieci handlu wodorem. Wprowadzenie systemu handlu wodorem będzie wymagać opracowania metodologii określania śladu węglowego różnych metod produkcji wodoru oraz przyjęcia gwarancji pochodzenia i systemów certyfikacji dla wodoru niskoemisyjnego (i paliw na bazie wodoru).

Dodawanie wodoru do istniejących sieci gazowych stanowi kolejną dostępną na wczesnym etapie drogę do zwiększenia skali niskoemisyjnej produkcji wodoru i obniżenia kosztów. Pomogłaby w tym międzynarodowa harmonizacja norm bezpieczeństwa i krajowych przepisów dotyczących dopuszczalnego stężenia wodoru w sieciach gazowych, podobnie jak przyjęcie kwot mieszania lub norm dotyczących paliw niskoemisyjnych.

Zmiana sposobu wykorzystania istniejących gazociągów, tam gdzie jest to technicznie wykonalne, przy malejącym zapotrzebowaniu na gaz ziemny, oraz podłączenie dużych węzłów zapotrzebowania na wodór w celu transportu wodoru mogłoby dać możliwość uruchomienia rozwoju nowej infrastruktury wodorowej z zachowaniem niskich kosztów i niewielkiego poczucia straty. Rozbudowa infrastruktury wodorowej w tempie wymaganym zgodnie ze scenariuszem ZEN wiązałaby się ze znacznym ryzykiem inwestycyjnym w całym łańcuchu wartości produkcji, transportu i popytu, począwszy od technologii produkcji wodoru, poprzez niskoemisyjne wytwarzanie energii elektrycznej, aż po transport i składowanie CO₂. Rządy i władze lokalne mogłyby odegrać ważną rolę poprzez koordynację procesów planowania wśród różnych zainteresowanych stron, bezpośrednie inwestycje publiczne lub partnerstwa publiczno-prywatne mogłyby pomóc w stworzeniu niezbędnej wspólnej infrastruktury dla wodoru, a współpraca międzynarodowa i inicjatywy transgraniczne mogłyby pomóc w rozłożeniu obciążeń inwestycyjnych i ryzyka, a tym samym ułatwić wdrożenia na dużą skalę, tak jak w przypadku ważnych projektów UE będących przedmiotem wspólnego europejskiego zainteresowania.

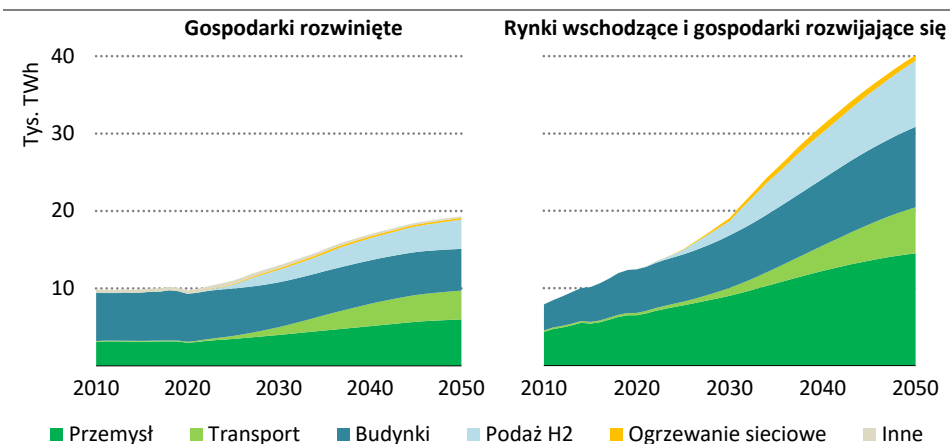
3.4. Sektor energii elektrycznej

3.4.1 Trendy w zakresie energii i emisji w scenariuszu zerowych emisji netto

Scenariusz NZE wiąże się zarówno ze znacznym wzrostem zapotrzebowania na energię elektryczną – wynikającym ze wzrostu aktywności gospodarczej, szybkiej elektryfikacji zastosowań końcowych i rozwoju produkcji wodoru metodą elektrolizy – jak i z radykalną transformacją sposobu wytwarzania energii elektrycznej. Globalne zapotrzebowanie na energię elektryczną wyniosło 23 230 TWh w 2020 r., przy średniej stopie wzrostu w ciągu poprzedniej dekady wynoszącej 2,3% rocznie. W scenariuszu NZE wartość ta wzrośnie do 60 000 TWh w 2050 r., co oznacza średni wzrost o 3,2% rocznie.

Na rynki wschodzące i gospodarki rozwijające się przypadać będzie 75% prognozowanego globalnego wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną do roku 2050 (Rysunek 3.9.). Zapotrzebowanie tych rynków i gospodarek wzrośnie o połowę do 2030 r. i potroi się do 2050 r., co będzie spowodowane wzrostem liczby ludności oraz rosnącymi dochodami i standardem życia, a także nowymi źródłami zapotrzebowania związanymi z dekarbonizacją. W gospodarkach rozwiniętych zapotrzebowanie na energię elektryczną po dziesięcioletnim zastoju powróci na ścieżkę wzrostu, niemal podwajając się w latach 2020-2050, głównie za sprawą elektryfikacji zastosowań końcowych i produkcji wodoru.

Rysunek 3.9 ▶ Zapotrzebowanie na energię elektryczną według sektorów i grup regionalnych w scenariuszu NZE



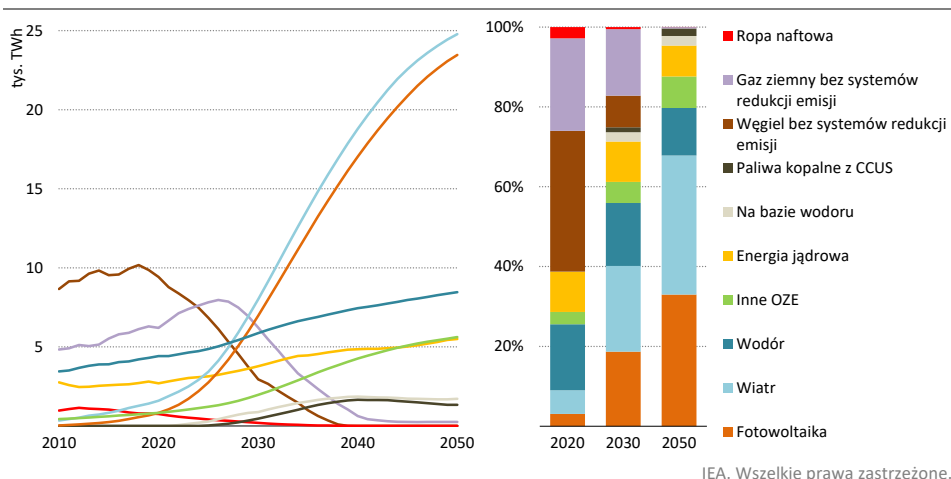
Elektryfikacja zastosowań końcowych i produkcja wodoru zwiększą zapotrzebowanie na energię elektryczną na całym świecie, co dodatkowo pobudzi rozwój usług na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się

Transformacja sektora energii elektrycznej ma zasadnicze znaczenie dla osiągnięcia zerowych emisji netto w 2050 r. Wytwarzanie energii elektrycznej jest obecnie największym źródłem emisji CO₂ związanych z energią, odpowiadającym za 36% całkowitych emisji związanych z energią. Emisje CO₂ z produkcji energii elektrycznej na świecie wyniosły w 2020 r. łącznie 12,3 Gt, z czego 9,1 Gt pochodziło z elektrowni węglowych, 2,7 Gt z elektrowni gazowych, a 0,6 Gt z elektrowni opalanych ropą naftową. W ramach scenariusza ZEN emisje CO₂ z produkcji energii elektrycznej spadną latami 2030. do zera w gospodarkach rozwiniętych w ujęciu zagregowanym. W gospodarkach wschodzących i rozwijających się spadną one do zera około 2040 r.

Źródła odnawialne w największym stopniu przyczyniają się do dekarbonizacji energii elektrycznej w scenariuszu NZE: globalna produkcja energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych wzrośnie niemal trzykrotnie do 2030 r. i ośmiokrotnie do 2050 r. (Rysunek 3.10.). Dzięki temu udział odnawialnych źródeł energii w całkowitej produkcji wzrośnie z 29% w 2020 r. do ponad 60% w 2030 r. i niemal 90% w 2050 r. Na prowadzenie w tym zakresie wyjdą energia fotowoltaiczna i wiatrowa, stając się przed 2030 r. wiodącymi źródłami energii elektrycznej na świecie: do 2050 r. każda z nich będzie wytwarzać ponad 23 000 TWh, co odpowiada około 90% całej energii elektrycznej wyprodukowanej na świecie w 2020 r. Pod koniec lat 2020. powszechne stanie się łączenie systemów magazynowania energii w akumulatorach z energią fotowoltaiczną i wiatrową w celu zwiększenia elastyczności systemu energetycznego i utrzymania bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej, uzupełnione reakcją na zapotrzebowanie w celu zapewnienia elastyczności w krótkich okresach oraz energią wodną lub wodorem w celu zapewnienia elastyczności w poszczególnych dniach, a nawet porach roku. W scenariuszu NZE energia wodna będzie największym niskoemisyjnym źródłem energii elektrycznej, a jej udział będzie stale rósł, podwajając się do 2050 roku. Wytwarzanie energii z bioenergii – w specjalnych instalacjach i w postaci biometanu dostarczanego przez sieci gazowe – podwoi się do 2030 r. i wzrośnie prawie pięciokrotnie do 2050 r.

Również energia jądrowa ma znaczący udział w scenariuszu NZE; jej produkcja stabilnie zwiększa się o 40% do 2030 r. i podwaja się do 2050 r., chociaż jej całkowity udział w energii wytwarzanej w 2050 r. wyniesie poniżej 10%. W szczytowym momencie, na początku lat 2030., przyrost mocy energetyki jądrowej na świecie osiągnie 30 GW rocznie, czyli pięciokrotnie więcej niż w minionej dekadzie. W gospodarkach rozwiniętych w wielu krajach dąży się do przedłużenia okresu eksploatacji istniejących reaktorów, ponieważ są one jednym z najbardziej opłacalnych źródeł niskoemisyjnej energii elektrycznej (IEA, 2019), natomiast nowe obiekty będą w latach 2021-2035 budowane średnio w tempie około 4,5 GW rocznie, przy czym coraz większy nacisk kładziony będzie na małe reaktory modułowe. Pomimo tych wysiłków udział energii jądrowej w całkowitej produkcji energii w gospodarkach rozwiniętych spadnie z 18% w 2020 r. do 10% w 2050 r. Dwie trzecie nowych mocy elektrowni jądrowych w scenariuszu NZE powstanie na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się, głównie w formie dużych reaktorów, gdzie liczba reaktorów wzrośnie do 2050 r. czterokrotnie. Dzięki temu udział energii jądrowej w produkcji energii elektrycznej w tych krajach wzrośnie z 5% w 2020 r. do 7% w 2050 r. (a energia jądrowa zaspokoi 4% komercyjnego zapotrzebowania na ciepło w 2050 r.).

Rysunek 3.10 ▶ Globalna produkcja energii elektrycznej według źródeł w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Fotowoltaika i energia wiatrowa wyjdą na prowadzenie, zwiększając udział odnawialnych źródeł energii w całkowitej produkcji energii elektrycznej z 29% w 2020 r. do prawie 90% w 2050 r.; uzupełniać je będą energia jądrowa, wodór i systemy CCUS

W ostatnich latach nastąpił postęp w technologiach energetyki jądrowej: ukończono budowę kilku pierwszych w swoim rodzaju dużych reaktorów o podwyższonym poziomie bezpieczeństwa. O ile w Chinach, Rosji i Zjednoczonych Emiratach Arabskich projekty zostały ukończone zgodnie z harmonogramem, o tyle w Europie i Stanach Zjednoczonych wystąpiły znaczne opóźnienia i przekroczenia kosztów. Małe reaktory modułowe i inne zaawansowane konstrukcje reaktorów zmierzają w kierunku demonstracji na pełną skalę, dzięki skalowalnym konstrukcjom, niższym kosztom początkowym i możliwościom zwiększenia elastyczności energetyki jądrowej zarówno pod względem eksploatacji, jak i produktów, np. energii elektrycznej, ciepła lub wodoru.

Doposażenie elektrowni opalanych węglem i gazem w systemy CCUS lub współspalanie z paliwami wodorowymi umożliwi istniejącym obiektom przyczynienie się do transformacji, przy jednoczesnym zmniejszeniu emisji i wsparciu bezpieczeństwa energetycznego. Najlepsze możliwości zastosowania CCUS istnieją w dużych, młodych obiektach z dostępną przestrzenią do dodania urządzeń wychwytyjących oraz w miejscach, gdzie istnieją opcje składowania CO₂ lub zapotrzebowanie na jego wykorzystanie. W przypadku elektrowni węglowych możliwości takie występują głównie w Chinach, a w przypadku elektrowni gazowych – głównie w Stanach Zjednoczonych. Chociaż w scenariuszu NZE w latach 2030-2050 elektrownie te wytwarzać będą zaledwie 2% całkowitej produkcji energii elektrycznej, zmodernizowane elektrownie wychwycą w tym okresie łącznie 15 Gt CO₂.

Technologie wychwytywania dwutlenku węgla pozostają na wczesnym etapie komercjalizacji. W ciągu ostatnich pięciu lat w systemy CCUS zostały wyposażone dwie

komercyjne elektrownie, a obecnie na świecie realizowanych jest 18 projektów energetycznych z wykorzystaniem CCUS. Terminowe ukończenie tych projektów i obniżenie kosztów dzięki praktycznemu doświadczeniu będzie mieć kluczowe znaczenie dla dalszego rozwoju. Alternatywą byłoby doposażenie istniejących elektrowni węglowych i gazowych w taki sposób, aby mogły one współpalać duże ilości paliw na bazie wodoru. W scenariuszu NZE paliwa na bazie wodoru są wykorzystywane w ten sposób do wytworzenia 900 TWh energii elektrycznej w 2030 r. i 1 700 TWh w 2050 r. (około 2,5% światowej produkcji w obu tych latach). W 2021 r. realizowany jest na dużą skalę (1 GW) projekt demonstracyjny współpalania z użyciem 20% amoniaku, którego celem jest przejście na spalanie wyłącznie amoniaku. Producenci sygnalizują, że przyszłe konstrukcje turbin gazowych będą zdolne do współpalania dużych ilości wodoru. Podczas gdy inwestycje niezbędne do współpalania paliw na bazie wodoru wydają się być niewielkie, stosunkowo wysokie koszty paliwa wskazują na zastosowania ukierunkowane raczej na wspieranie stabilności i elastyczności systemu energetycznego niż na masowe zasilanie.

Globalne wykorzystanie paliw kopalnych bez systemów redukcji emisji do produkcji energii elektrycznej zostanie w scenariuszu NZE gwałtownie ograniczone. Produkcja energii elektrycznej z węgla bez systemów redukcji emisji zostanie ograniczona o 70% do 2030 r.; obejmie to stopniową rezygnację z węgla wykorzystywanego bez systemów redukcji emisji w gospodarkach rozwiniętych, a we wszystkich innych regionach nastąpi to do 2040 r. Odejście od wytwarzania energii z ropy naftowej na dużą skalę nastąpi w latach 2030. Produkcja energii elektrycznej z wykorzystaniem gazu ziemnego bez wychwytywania dwutlenku węgla wzrośnie w krótkim okresie w ramach zastępowania węgla, ale zacznie spadać przed 2030 r. i do 2040 r. będzie o 90% niższa niż w 2020 r.

Sektor energii elektrycznej jest pierwszym sektorem, który osiągnie zerowe emisje netto, głównie ze względu na niskie koszty, szerokie wsparcie polityczne i dojrzałość szeregu technologii energii odnawialnej. Pierwsze miejsce wśród tych technologii zajmuje fotowoltaika, która jest najtańszym nowym źródłem energii elektrycznej na większości rynków i jest wspierana przez przyjęte polityki w ponad 130 krajach. Morska energia wiatrowa jest również gotową do wprowadzenia na rynek, niedrogą technologią, która cieszy się szerokim poparciem i może być szybko rozbudowywana, w sprzyjających warunkach dorównując pod względem niskich kosztów fotowoltaice, choć na kilku rynkach napotyka na opór społeczny oraz wymaga przejścia skomplikowanych procedur wydawania pozwoleń i koncesji. W ostatnich latach technologia morskiej energetyki wiatrowej szybko dojrzała, a w najbliższym czasie jej wykorzystanie ma ulec przyspieszeniu. Obecnie koncentrujemy się na instalacjach stałych na dnie morza, ale w scenariuszu NZE od około 2030 r. znaczny wkład zaczną wносить pływające morskie elektrownie wiatrowe, pomagając uwolnić ogromny potencjał, który istnieje na całym świecie. Technologie hydroenergetyczne, bioenergetyczne i geotermalne są dobrze ugruntowanymi, dojrzałymi i elastycznymi źródłami energii odnawialnej. Jako technologie umożliwiające wytwarzanie dyspozycyjnej energii elektrycznej, będą one mieć decydujące znaczenie dla bezpieczeństwa energetycznego, wraz z akumulatorami, których koszty gwałtownie spadły, wykazały zdolność do świadczenia wysokowartościowych usług sieciowych i w większości miejsc można je zbudować w ciągu

kilku miesięcy. Systemy ogniskujące energię słoneczną i energia morska to mniej dojrzałe technologie, ale innowacje mogą sprawić, że w dłuższej perspektywie wniosą one istotny wkład.

3.4.2 Kluczowe etapy i punkty decyzyjne

Tabela 3.2 ► Kluczowe etapy transformacji globalnego wytwarzania energii elektrycznej

Kategoria	
Dekarbonizacja sektora elektroenergetycznego	- Gospodarki rozwinięte w ujęciu zagregowanym: 2035. - Rynki wschodzące i gospodarki rozwijające się 2040.
Paliwa na bazie wodoru	Rozpoczęcie modernizacji elektrowni węglowych do współspalania amoniaku oraz turbin gazowych do współspalania wodoru do 2025 r.
Paliwa kopalne bez systemów redukcji emisji	- Wycofanie z eksploatacji wszystkich elektrowni węglowych na parametry podkrytyczne do 2030 r. (870 GW istniejących elektrowni i 14 GW w budowie). - Wycofanie z eksploatacji wszystkich elektrowni węglowych bez systemów redukcji emisji do 2040 r. - Wycofanie z eksploatacji dużych elektrowni opalanych ropą naftową w latach 2030. - Osiągnięcie szczytowej wartości produkcji energii z gazu ziemnego bez systemów redukcji emisji do 2030 r. i poziomu niższego o 90% do 2040 r.

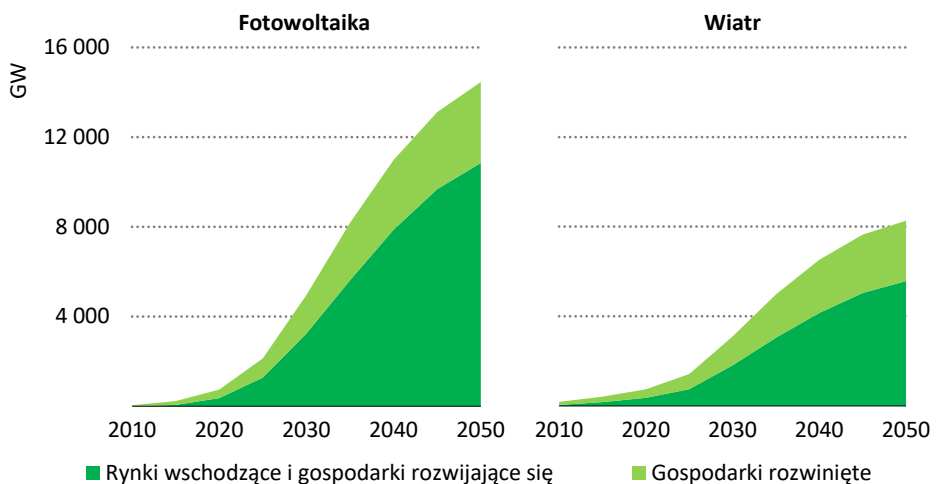
Kategoria	2020	2030	2050
Produkcja energii elektrycznej ogółem (TWh)	26 800	37 300	71 200
Energia odnawialna			
Moc zainstalowana (GW)	2 990	10 300	26 600
Udział w produkcji ogółem	29%	61%	88%
Udział fotowoltaiki i energii wiatrowej w produkcji ogółem	9%	40%	68%
Produkcja z wychwytywaniem, wykorzystywaniem i składowaniem dwutlenku węgla (CCUS) (TWh)			
Elektrownie węglowe i gazowe wyposażone w systemy CCUS	4	460	1 330
Elektrownie na bioenergię z CCUS	0	130	840
Wodór i amoniak			
Średnia domieszka w globalnej produkcji elektrowni węglowych (bez CCUS)	0%	3%	100%
Średnia domieszka w globalnej produkcji elektrowni gazowych (bez CCUS)	0%	9%	85%

Kategoria	2020	2030	2050
Paliwa kopalne wykorzystywane bez systemów redukcji emisji			
Udział elektrowni węglowych bez systemów redukcji emisji w całkowitej produkcji energii elektrycznej	35%	8%	0,0%
Udział elektrowni opalanych gazem ziemnym bez systemów redukcji emisji w całkowitej produkcji energii elektrycznej	23%	17%	0,4%
Energia jądrowa			
Średni roczny przyrost mocy (GW)	7	17	24
Infrastruktura			
Inwestycje w sieci elektroenergetyczne w mld USD (2019)	260	820	800
Wydajność stacji elektroenergetycznych (GVA)	55 900	113 000	290 400
Magazynowanie w akumulatorach (GW)	18	590	3 100
Publiczne ładowanie pojazdów elektrycznych (GW)	46	1 780	12 400

Wyjaśnienie: GW = gigawaty; GVA =gigawoltoampery.

Przekształcenie sektora elektroenergetycznego w sposób przewidziany w NZE wymaga znacznego zwiększenia mocy w odniesieniu do wszystkich niskoemisyjnych paliw i technologii. Globalna moc odnawialnych źródeł energii wzrośnie ponad trzykrotnie do 2030 r. i dziewięciokrotnie do 2050 r. W latach 2030-2050 r. oznaczać to będzie dodawanie średnio ponad 600 GW mocy instalacji fotowoltaicznych rocznie i 340 GW mocy elektrowni wiatrowych rocznie, wliczając w to wymiany (Rysunek 3.11), przy czym z czasem coraz większe znaczenie zyska morska energia wiatrowa (ponad 20% całkowitej mocy dodanej w latach 2021-2050 w porównaniu z 7% w 2020 roku). Równolegle wzrastać musi roczne wykorzystanie mocy akumulatorów w sektorze elektroenergetycznym, z 3 GW w 2019 r. do 120 GW w 2030 r. i do ponad 240 GW w 2040 r. Należy również rozpocząć modernizację istniejących elektrowni węglowych i gazowych.

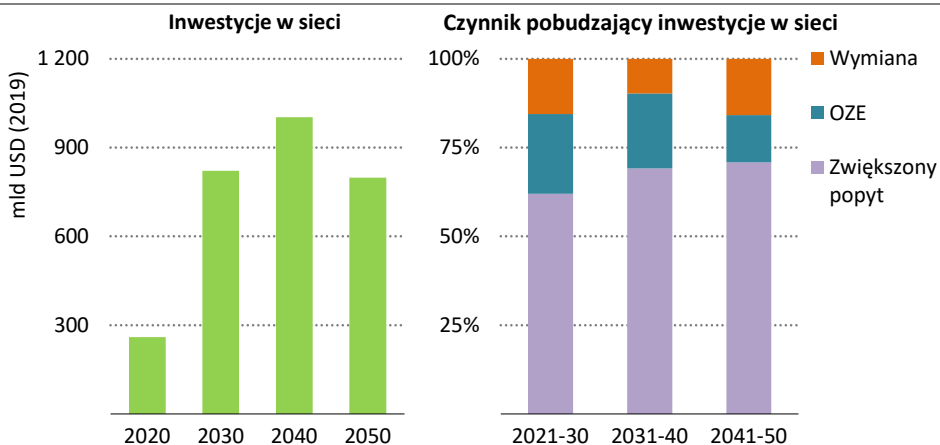
Rysunek 3.11 ► Moc zainstalowana fotowoltaiki i farm wiatrowych w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Energia fotowoltaiczna i wiatrowa muszą szybko się rozwijać, aby obniżyć emisyjność energii elektrycznej, przy czym do 2050 r. całkowita moc fotowoltaiki powinna wzrosnąć 20-krotnie, a energii wiatrowej 11-krotnie

Rysunek 3.12 ► Globalne inwestycje w sieci elektroenergetyczne w scenariuszu NZE



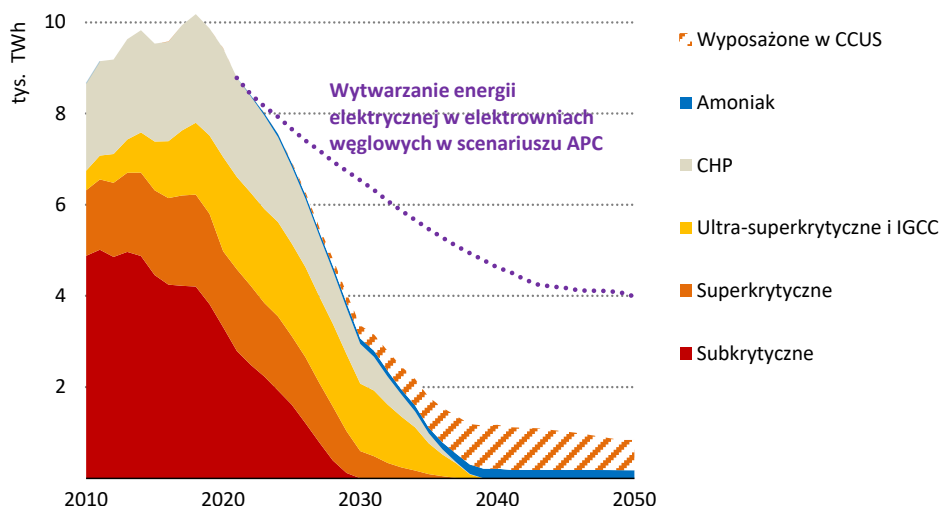
IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Inwestycje w sieci elektroenergetyczne potroją się do 2030 r. i pozostaną na wysokim poziomie do 2050 r., zaspokajając nowe zapotrzebowanie, zastępując starzejącą się infrastrukturę i integrując więcej odnawialnych źródeł energii

Inwestycje w sieci elektroenergetyczne będą mieć kluczowe znaczenie dla realizacji tej transformacji. Globalne sieci elektroenergetyczne, których budowa trwała ponad 130 lat, muszą zwiększyć swoją długość całkowitą ponad dwukrotnie do 2040 r. i o kolejne 25% do 2050 r. Łączne inwestycje w sieci muszą wzrosnąć do 820 mld USD do 2030 roku i do 1 bln USD w 2040 roku, po czym spadną po pełnej dekarbonizacji energii elektrycznej i spowolnieniu wzrostu udziału odnawialnych źródeł energii do poziomu odpowiadającego wzrostowi zapotrzebowania (Rysunek 3.12). Wymiana starzejącej się infrastruktury stanowi ważny element inwestycji w sieci przewidzianych w scenariuszu NZE do 2050 r.

Rządy muszą podjąć kilka kluczowych decyzji w sektorze elektroenergetycznym, jeśli chcą podążać przewidzianą w scenariuszu NZE drogą ku osiągnięciu zerowych emisji netto do 2050 r., w szczególności decyzji dotyczących sposobu najlepszego wykorzystania istniejących elektrowni. W przypadku modernizacji elektrowni węglowych lub gazowych, czy to poprzez wychwytywanie dwutlenku węgla lub współspalanie paliw na bazie wodoru (lub poprzez pełną konwersję), konieczne będą decyzje wspierające pierwsze projekty przed 2030 r., zanim konieczne będzie powszechne wycofanie elektrowni bez systemów redukcji emisji z eksploatacji. W przypadku innych elektrowni zasilanych paliwami kopalnymi konieczne będzie podjęcie decyzji o ich stopniowym wycofywaniu z eksploatacji. Elektrownie węglowe powinny zostać całkowicie wycofane z eksploatacji do 2040 r., chyba że zostaną zmodernizowane, począwszy od najmniej efektywnych konstrukcji, do 2030 r. (Rysunek 3.13). Wymagałoby to zamknięcia na całym świecie istniejących elektrowni węglowych na parametry podkrytyczne o mocy 870 GW (11% całej mocy) oraz współpracy międzynarodowej w celu ułatwienia wdrożenia rozwiązań zastępczych. Do 2040 r. wszystkie duże elektrownie opalane olejem opałowym powinny zostać wycofane z eksploatacji. Wytwarzanie energii elektrycznej z wykorzystaniem gazu ziemnego pozostanie ważnym elementem zaopatrzenia w energię elektryczną do 2050 r., ale konieczne będzie silne wsparcie rządowe, aby zapewnić szybkie i powszechne wdrożenie systemów CCUS.

Rysunek 3.13 ▶ Wytwarzanie energii elektrycznej z węgla kamiennego według technologii w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

W 2020 r. energetyka węglowa odpowiadała za 27% światowej emisji CO₂, a w scenariuszu NZE wszystkie elektrownie na parametry podkrytyczne zostaną wycofane z eksploatacji do 2030 r., a wszystkie elektrownie bez CCUS – do 2040 r.

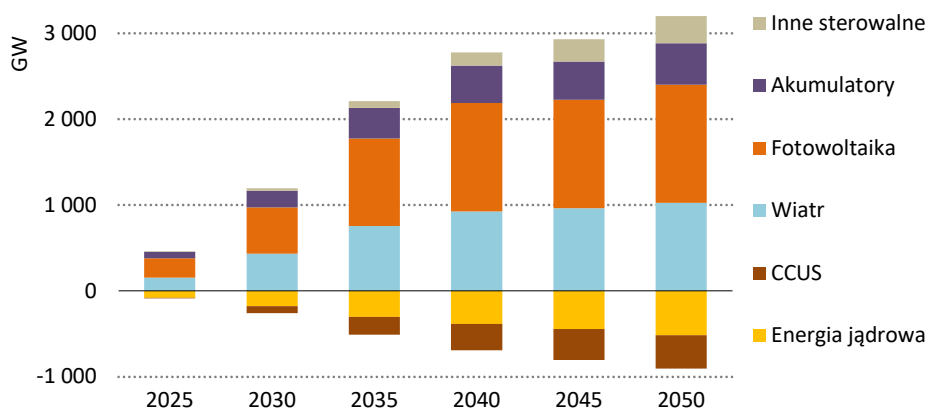
Wyjaśnienie: APC = Casus Ogłoszonych Zobowiązań; IGCC = zintegrowane zgazowanie w cyklu kombinowanym. Zastosowanie amoniaku obejmuje współpalanie i pełną konwersję elektrowni węglowych.

Droga do zerowych emisji netto mogłaby być łatwiejsza dzięki wczesnym działaniom rządów, które pomogłyby w przeprowadzeniu kilku technologii zapewniających elastyczność systemu energetycznego przez fazy demonstracyjne i we wprowadzeniu ich na rynek. Szczególnie znaczenie miałyby rozszerzenie zestawu technologii magazynowania energii w celu uzupełnienia akumulatorów i uwzględnienia pojawiających się potrzeb w zakresie sezonowego magazynowania energii przez dłuższy czas. Rozwiązania techniczne wspierające stabilność sieci energetycznych o dużym udziale energii fotowoltaicznej i wiatrowej również skorzystałyby ze wsparcia w zakresie badań i rozwoju.

Istnieją trzy ważne zagadnienia związane z energetyką jądrową, w odniesieniu do których należy podjąć decyzje: przedłużenie okresu eksploatacji, tempo budowy nowych obiektów oraz postęp w technologii energetyki jądrowej. W gospodarkach rozwiniętych należy podjąć decyzje dotyczące budowy nowych obiektów oraz dużej liczby elektrowni jądrowych, które mogą zostać wycofane z eksploatacji w ciągu najbliższej dekady, jeżeli nie zostaną podjęte działania mające na celu przedłużenie ich okresu eksploatacji i dokonanie wymaganych inwestycji. Bez dalszego przedłużenia okresu eksploatacji i nowych projektów poza tymi, które są już w budowie, w ciągu najbliższych dwóch dekad produkcja energii jądrowej w gospodarkach rozwiniętych spadnie o dwie trzecie (IEA, 2019). Na rynkach wschodzących i w

gospodarkach rozwijających się trzeba podjąć decyzje dotyczące tempa budowy nowych elektrowni jądrowych. W latach 2011-2020 każdego roku oddawano do użytku nowe elektrownie jądrowe o łącznej mocy wynoszącej średnio 6 GW. Do 2030 r. tempo budowy nowych obiektów w scenariuszu NZE wzrośnie do 24 GW rocznie. Trzecia grupa decyzji dotyczy zakresu wsparcia rządowego dla zaawansowanych technologii jądrowych, zwłaszcza związanych z małymi reaktorami modułowymi i wysokotemperaturowymi reaktorami gazowymi, z których obie mogą rozszerzyć rynki energii jądrowej poza energię elektryczną.

Rysunek 3.14 ▶ Dodatkowa globalna alternatywna moc potrzebna w Casusie Niskiego Wykorzystania Energii Jądrowej i CCUS



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Znaczne ograniczenie roli energii jądrowej i wychwytywania dwutlenku węgla wymagałoby jeszcze szybszego rozwoju energetyki fotowoltaicznej i wiatrowej, co sprawiłoby, że osiągnięcie celu, jakim są zerowe emisje netto byłoby bardziej kosztowne i mniej prawdopodobne

Wyjaśnienie: W Casusie Niskiego Wykorzystania Energii Jądrowej i CCUS zakłada się, że globalna produkcja energii jądrowej w 2050 r. będzie o około 60% niższa niż w scenariuszu NZE ze względu na brak dodatkowego wydłużenia okresu eksploatacji lub nowych projektów jądrowych w gospodarkach rozwiniętych oraz brak zwiększenia obecnego tempa budowy na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się, a także ze względu na to, że moc elektrowni węglowych i gazowych wyposażonych w systemy CCUS będzie o 99% niższa niż przewidziano w scenariuszu NZE.

Niepodjęcie w odpowiednim czasie decyzji dotyczących energetyki jądrowej i CCUS podniosłoby koszty ścieżki ku zerowym emisjom netto i zwiększyło ryzyko nieosiągnięcia celu, zwiększając presję na zwiększenie udziału energetyki wiatrowej i fotowoltaicznej w tempie jeszcze szybszym niż przewidziano w scenariuszu NZE (Rysunek 3.14). W scenariuszu *Niskiego wykorzystania energetyki jądrowej i CCUS* zakładamy, że globalna produkcja energii jądrowej w 2050 roku będzie o 60% niższa niż w scenariuszu NZE, co wynika z braku dodatkowych wydłużeń okresu eksploatacji elektrowni jądrowych lub nowych projektów w gospodarkach rozwiniętych oraz braku wzrostu obecnego tempa budowy na rynkach wschodzących i w

gospodarkach rozwijających się, a także z faktu, że zrealizowane zostaną jedynie ogłoszone projekty CCUS (stanowiące 1% dodatkowej wydajności systemów CCUS przewidzianej w scenariuszu NZE).

Nasza analiza wskazuje, że ciężar zastąpienia tych niskoemisyjnych źródeł wytwarzania spadłby głównie na fotowoltaikę i energetykę wiatrową, których moc musiałaby być większa o 2,4 tys. GW niż w scenariuszu NZE – co znacznie przekracza ich łączną globalną moc eksploatowaną w 2020 roku (Rysunek 3.14.). Oprócz 3 100 GW mocy instalacji funkcjonujących zgodnie ze scenariuszem ZEN, potrzebne byłoby dodatkowo około 480 GW mocy w akumulatorach oraz ponad 300 GW innych mocy dyspozycyjnych, aby zaspokoić zapotrzebowanie we wszystkich porach roku i zapewnić wystarczalność systemu. Wymagałoby to dodatkowych inwestycji o wartości 2 bln USD w elektrownie i związane z nimi obiekty sieciowe (po odjęciu niższych inwestycji w energię jądrową i systemy CCUS). Biorąc pod uwagę uniknięte koszty paliwa, szacowany całkowity dodatkowy koszt energii elektrycznej dla konsumentów w latach 2021-2050 wynosi 260 mld USD.

3.5 Przemysł

3.5.1 *Trendy w zakresie energii i emisji w scenariuszu zerowych emisji netto*

Jako drugie co do wielkości źródło emisji CO₂ w sektorze energii, przemysł ma do odegrania istotną rolę w osiągnięciu celu, jakim są zerowe emisje netto. Emisje przemysłowe CO₂⁶ (w tym pochodzące z wykorzystania energii i procesów produkcyjnych) wyniosły w 2020 r. łącznie około 8,4 Gt. Na gospodarki rozwinięte przypadło około 20%, a na rynki wschodzące i gospodarki rozwijające się około 80% tych emisji, chociaż złożone globalne łańcuchy dostaw w zakresie produkcji materiałów i wytwarzania oznaczają, że gospodarki rozwinięte na ogół konsumują znacznie więcej wyrobów gotowych niż produkują.

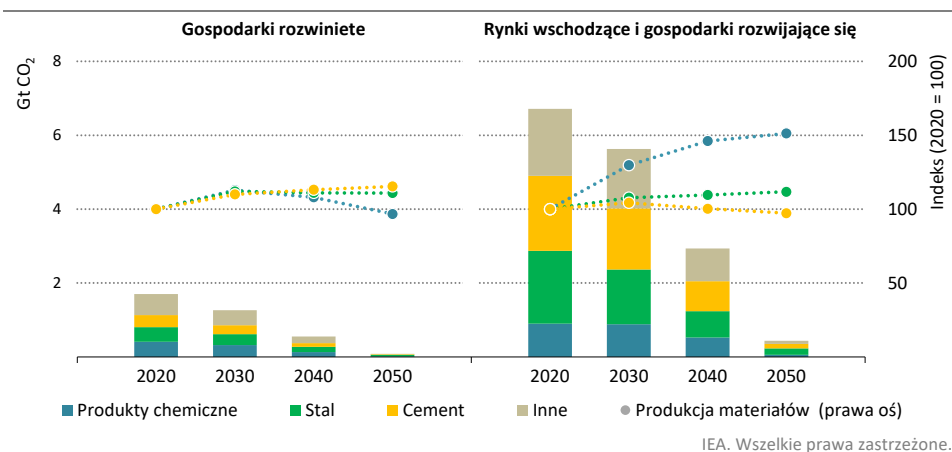
Trzy gałęzie przemysłu ciężkiego – przemysł chemiczny, stalowy i cementowy – odpowiadają za prawie 60% całkowitego zużycia energii i około 70% emisji CO₂ w sektorze przemysłu. Produkcja jest w dużym stopniu skoncentrowana na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się, na które przypada 70-90% łącznej produkcji tych towarów (Rysunek 3.15). Same Chiny odpowiadały za prawie 60% produkcji stali i cementu w 2020 r. Te materiały masowe są niezbędnymi elementami naszego nowoczesnego stylu życia i mają niewielką liczbę substytutów konkurencyjnych pod względem kosztów; wyzwaniem jest kontynuowanie produkcji tych materiałów bez emisji CO₂.

Perspektywy dla światowego zapotrzebowania na materiały w scenariuszu NZE to utrzymanie stałego poziomu i niewielki wzrost. Widać tu wyraźny kontrast w stosunku do wzrostu obserwowanego w ciągu ostatnich dwóch dekad, kiedy to światowy popyt na stal wzrósł 2,1-krotnie, na cement 2,4-krotnie, a na tworzywa sztuczne (kluczowa grupa materiałów wytwarzanych przez sektor chemiczny) 1,9-krotnie w odpowiedzi na rozwój

⁶ Wszystkie emisje CO₂ opisane w tym punkcie to bezpośrednie emisje CO₂ z sektora przemysłu, chyba że stwierdzono inaczej.

gospodarczy i wzrost liczby ludności na całym świecie. Kiedy gospodarki się rozwijają, popyt na materiały w przeliczeniu na jednego mieszkańca ma tendencję do szybkiego wzrostu, ze względu na gromadzenie zapasów towarów i rozwój infrastruktury. W miarę dojrzewania gospodarek, przyszły popyt wynikać będzie przede wszystkim z konieczności odnawiania i wymiany tych zapasów, których poziom ulegać będzie wyczerpaniu. W scenariuszu NZE, spłaszczenie lub nawet spadek popytu w wielu krajach świata doprowadzi do spowolnienia wzrostu globalnego popytu. Niektóre kraje, takie jak Indie, odnotują wyższy wzrost produkcji stali i cementu, podczas gdy produkcja w Chinach znacznie spadnie po okresie boomu przemysłowego, który nastąpił w pierwszych latach obecnego stulecia.

Rysunek 3.15 ▶ Globalna emisja CO₂ w przemyśle według podsektorów w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

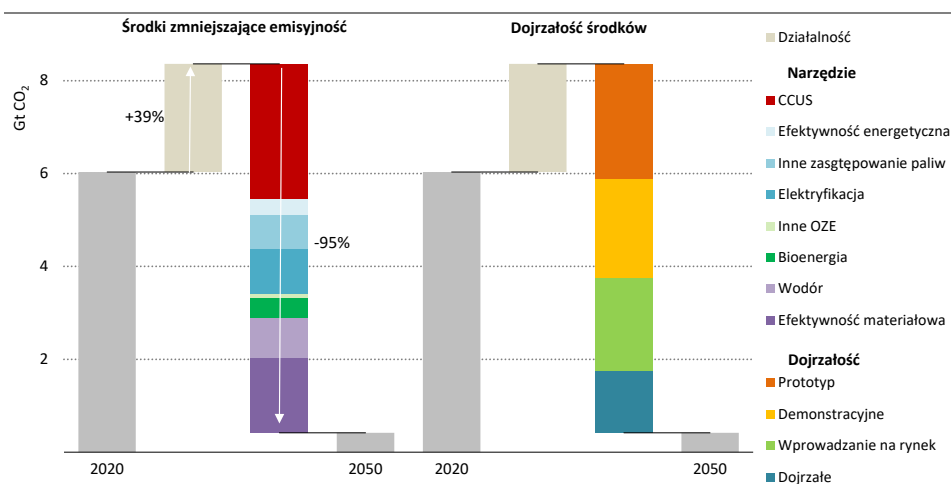
Większość emisji resztkowych w przemyśle w 2050 r. pochodzić będzie z przemysłu ciężkiego na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się

Wyjaśnienie: Inne to produkcja aluminium, papieru, innych materiałów niemetalowych i innych metali nieżelaznych oraz szereg gałęzi przemysłu lekkiego.

W niektórych segmentach zapotrzebowanie na materiały gwałtownie wzrośnie, ze względu na konieczną rozbudowę infrastruktury związanej z energetyką w scenariuszu NZE, zwłaszcza w zakresie wytwarzania energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych oraz infrastruktury transportowej. Dodatkowa infrastruktura, która musi powstać w tych dwóch segmentach do 2050 roku w porównaniu z dniem dzisiejszym będzie odpowiadać za około 10% zapotrzebowania na stal w 2050 roku. Jednak skoordynowane strategie międzysektorowe obejmujące zmiany w zakresie transportu i remontów budynków, a także inne zmiany w projektowaniu, metodach produkcji, praktykach budowlanych i zachowaniach konsumentów z nawiązką zrekomensują ten wzrost. Ogólnie rzecz biorąc, światowy popyt na stal w 2050 r. będzie o 12% wyższy niż obecnie a na podstawowe produkty chemiczne o 30% wyższy, natomiast popyt na cement zasadniczo pozostanie stały.

W scenariuszu NZE emisje CO₂ z przemysłu ciężkiego spadną o 20% do 2030 r. i o 93% do 2050 r. Ważną rolę odgrywać przy tym będzie optymalizacja wydajności eksploatacyjnej urządzeń, wdrożenie najlepszych dostępnych technologii w przypadku zwiększania mocy produkcyjnych oraz środki mające na celu poprawę efektywności wykorzystania materiałów. Istnieją jednak ograniczenia co do tego, w jak dużym stopniu środki te mogą ograniczyć emisje. W scenariuszu NZE prawie 60% redukcji emisji w 2050 r. zostanie osiągnięte dzięki technologiom, które są obecnie w fazie rozwoju (duże prototypy lub skala demonstracyjna) (Rysunek 3.16).

Rysunek 3.16 ► Globalne emisje CO₂ w przemyśle ciężkim i ich redukcja według środków łagodzących i kategorii dojrzałości technologii w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Kluczową rolę odgrywać będzie szereg środków mających na celu ograniczenie emisji w przemyśle ciężkim, w tym innowacyjne technologie, takie jak CCUS i wodór

W scenariuszu NZE technologie wodorowe i CCUS łącznie przyczynią się do około 50% redukcji emisji w przemyśle ciężkim w 2050 r. Technologie te umożliwiają dostarczanie dużych ilości wysokotemperaturowego ciepła, którego w wielu przypadkach nie można łatwo dostarczyć za pomocą energii elektrycznej przy zastosowaniu obecnych technologii, a także przyczyniają się do zmniejszenia emisji technologicznych w wyniku reakcji chemicznych nieodłącznie związanych z niektórymi rodzajami produkcji przemysłowej. Również bioenergia ma pozytywny wpływ na szeroki zakres zastosowań przemysłowych.

Dwa czynniki, poza zapotrzebowaniem na ciepło wysokotemperaturowe i emisje technologiczne, tłumaczą wolniejsze tempo redukcji emisji w przemyśle ciężkim w porównaniu z innymi obszarami systemu energetycznego. Po pierwsze, łatwość, z jaką wiele materiałów i produktów przemysłowych może być przedmiotem handlu na całym świecie, oznacza, że rynki są konkurencyjne, a marże niskie. Pozostawia to niewiele miejsca na

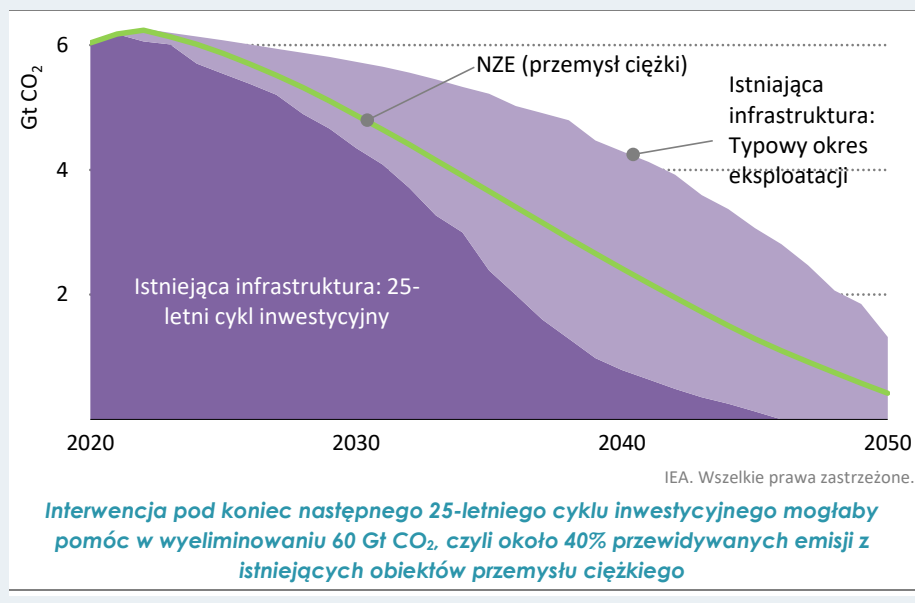
absorpcję dodatkowych kosztów wynikających z przyjęcia droższych metod produkcji. Potrzeba czasu, aby opracować solidne ramy współpracy globalnej i transferu technologii lub rozwiązania krajowe, które umożliwią stworzenie równych warunków konkurencji dla tych technologii. Po drugie, przemysł ciężki wykorzystuje kapitałochłonne urządzenia o długim okresie eksploatacji, co spowalnia wdrażanie innowacyjnych technologii niskoemisyjnych. Zwiększenie mocy produkcyjnych w okresie do 2030 r., zanim możliwe będzie wprowadzenie na szeroką skalę innowacyjnych procesów, w dużej mierze wyjaśnia utrzymywanie się emisji przemysłowych w 2050 r., z których ponad 80% przypadając będzie na rynki wschodzące i gospodarki rozwijające się. Strategicznie zaplanowane inwestycje w technologie niskoemisyjne mogłyby pomóc w zminimalizowaniu liczby obiektów wycofywanych z eksploatacji (Ramka 3.1).

Ramka 3.1 ➤ **Cykle inwestycyjne w przemyśle ciężkim**

Dla przemysłu ciężkiego rok 2050 dzieli od dnia dzisiejszego zaledwie jeden cykl inwestycyjny. Średni okres eksploatacji obiektów wytwarzających emisje, takich jak wielkie piece i piece cementowe, wynosi około 40 lat. Jednak po około 25 latach eksploatacji elektrownie są często poddawane gruntownej renowacji w celu przedłużenia czasu ich eksploatacji.

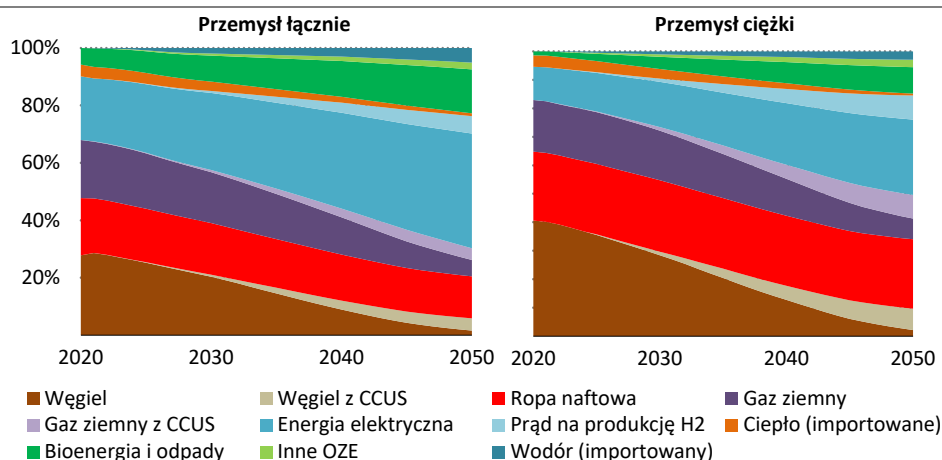
Cała trudność polega na zagwarantowaniu tego, żeby innowacyjne technologie przemysłowe o niemal zerowej wartości emisji, które dziś znajdują się na etapie prototypów i demonstracji, trafiły na rynki w ciągu najbliższej dekady, kiedy to około 30% istniejących obecnie obiektów osiągnie wiek 25 lat będzie przedmiotem decyzji inwestycyjnych. Jeśli te innowacyjne technologie nie będą gotowe lub nie zostaną wykorzystane, nawet jeśli będą gotowe, będzie to mieć poważny negatywny wpływ na tempo redukcji emisji lub będzie grozić wzrostem liczby obiektów osieroconych (rysunek 3.17). Z drugiej strony, jeżeli będą one gotowe i jeżeli istniejące zakłady zostaną zmodernizowane lub zastąpione nimi w chwili podejmowania decyzji inwestycyjnych po 25 latach od rozpoczęcia eksploatacji, może to do 2050 r. zmniejszyć przewidywane łączne emisje z istniejących obiektów przemysłu ciężkiego o około 40%. Nie należy zaprzepaścić wyjątkowej szansy występującej w okresie od dnia dzisiejszego do 2030 r.

Rysunek 3.17 ▶ Emisje CO₂ z istniejących obiektów przemysłu ciężkiego w scenariuszu NZE



W scenariuszu NZE radykalnie zmienia się miks energetyczny w przemyśle. Udział paliw kopalnych w całkowitym zużyciu energii zmniejszy się z około 70% obecnie do 30% w 2050 r. Zdecydowana większość paliw kopalnych, które będą jeszcze wtedy wykorzystywane, będzie wykorzystywana w przemyśle ciężkim, głównie jako surowce chemiczne (50%) lub w zakładach wyposażonych w systemy CCUS (około 30%). Energia elektryczna jest dominującym paliwem pokrywającym wzrost zapotrzebowania na energię w przemyśle, a jej udział w całkowitym zużyciu energii w przemyśle wzrośnie z 20% w 2020 r. do 45% w 2050 r. Około 15% tej energii elektrycznej będzie wykorzystywane do produkcji wodoru. Ważną rolę odgrywać będzie bioenergia, pokrywając w 2050 r. 15% całkowitego zużycia energii, ale jej zrównoważone dostawy będą ograniczone, a ponadto będzie występować duże zapotrzebowanie na nią w sektorze energii i transportu. Odnawialne technologie solarne i geotermalne zapewniające ciepło będą mieć niewielki, ale szybko rosnący udział (Rysunek 3.18).

Rysunek 3.18 ► Globalne końcowe zapotrzebowanie na energię w przemyśle według paliw w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Do 2050 r. zużycie paliw kopalnych w przemyśle zmniejszy się o połowę i zostaną one zastąpione głównie przez energię elektryczną i bioenergię

Wyjaśnienie: Zużycie energii w przemyśle obejmuje surowce chemiczne oraz energię zużywaną w wielkich piecach i koksowniach. Wodór oznacza wodór importowany i nie obejmuje wytwarzania wodoru na potrzeby własne. Energia elektryczna do wodoru oznacza energię elektryczną wykorzystywaną do produkcji wodoru na potrzeby własne w procesie elektrolizy.

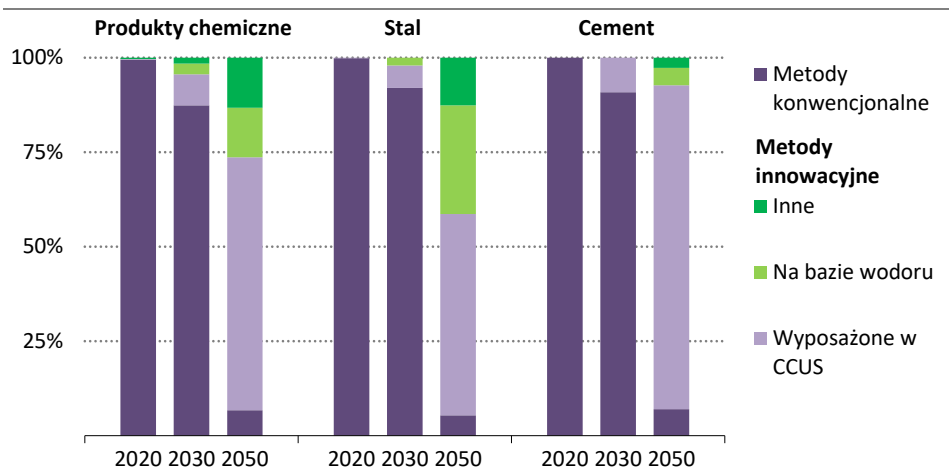
Produkcja produktów chemicznych

W scenariuszu NZE emisje z podsektora chemicznego spadną z 1,3 Gt w 2020 r. do 1,2 Gt w 2030 r. i około 65 Mt w 2050 r. Udział paliw kopalnych w całkowitym zużyciu energii spadnie z 83 % w 2020 r. (głównie ropa naftowa i gaz ziemny) do 76 % w 2030 r. i 61 % w 2050 r. W scenariuszu NZE do 2050 r. ropa naftowa pozostanie najważniejszym paliwem wykorzystywanym w produkcji podstawowych produktów chemicznych, przy spadku ilości wykorzystywanego gazu ziemnego i węgla.

Technologie, które są obecnie dostępne na rynku, odpowiadają za prawie 80% redukcji emisji osiągniętych w scenariuszu NZE w przemyśle chemicznym na całym świecie do 2030 r. w porównaniu z dniem dzisiejszym. Obejmują one recykling i ponowne wykorzystanie tworzyw sztucznych oraz bardziej efektywne stosowanie nawozów azotowych, co zmniejsza zapotrzebowanie na podstawowe produkty chemiczne, a także środki mające na celu zwiększenie efektywności energetycznej. Po roku 2030 większość redukcji emisji wynikać będzie z zastosowania technologii, których integracja z procesami chemicznymi jest obecnie w fazie rozwoju, w tym niektórych zastosowań CCUS oraz wodoru elektrolitycznego wytwarzanego bezpośrednio ze zmiennej odnawialnej energii elektrycznej (Rysunek 3.19). Wyposażone w systemy CCUS technologie konwencjonalne i technologie pirolizy są najbardziej konkurencyjne w regionach z dostępem do taniego gazu ziemnego, natomiast

elektroliza jest preferowaną opcją w regionach, gdzie wdrożenie CCUS jest utrudnione przez brak infrastruktury lub akceptacji społecznej.

Rysunek 3.19 ▶ Światowa produkcja przemysłowa materiałów sypkich według metod produkcji w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Do 2050 r. metody o niemal zerowej emisji zdominują produkcję cementu, stali pierwotnej i produktów chemicznych, przy czym kluczową rolę odgrywać będą technologie CCUS i wodorowe

Wyjaśnienie: CCUS = wychwytywanie, wykorzystywanie i składowanie dwutlenku węgla Produkty chemiczne oznaczają produkcję podstawowych produktów chemicznych (etylenu, propylenu, benzenu, toluenu, mieszaniny ksylenów, amoniaku i metanolu). Stal oznacza produkcję stali pierwotnej. Inne oznaczają innowacyjne procesy, które wykorzystują bioenergię i bezpośrednio przyczyniają się do elektryfikacji produkcji. Na bazie wodoru oznaczają wodór elektrolityczny. Wodór wytwarzany z wykorzystaniem paliw kopalnych z systemami CCUS jest ujęty w kategorii Wypożone w CCUS.

Produkcja żelaza i stali

W scenariuszu NZE globalne emisje CO₂ w podsektorze żelaza i stali spadną z 2,4 Gt w 2020 r. do 1,8 Gt w 2030 r. i 0,2 Gt w 2050 r., w miarę jak gwałtownie spadać będzie zużycie paliw kopalnych bez systemów redukcji emisji. Ich udział w ogólnym miksie paliw spadnie z 85% obecnie do nieco ponad 30% w 2050 r. Przemysł stalowy pozostanie w 2050 r. jednym z ostatnich sektorów wykorzystujących znaczne ilości węgla, przede wszystkim ze względu na jego znaczenie jako czynnika redukcji chemicznej, choć głównie w połączeniu z CCUS.

Scenariusz NZE przewiduje radykalną transformację technologiczną podsektora żelaza i stali opartą w dużej mierze na poważnym przejściu z węgla na energię elektryczną. Do 2050 r. energia elektryczna i inne paliwa niekopalne będą zaspokajać prawie 70% końcowego zapotrzebowania na energię w tym sektorze, w porównaniu z zaledwie 15% w 2020 r. Czynnikiem stymulującym tę zmianę będą takie technologie jak elektryczne piece łukowe

(EAF) do przetwarzania złomu, instalacje do bezpośredniej redukcji żelaza (DRI) na bazie wodoru, elektroliza rudy żelaza oraz elektryfikacja urządzeń pomocniczych. W scenariuszu NZE udział węgla w całkowitym zużyciu energii spadnie z 75% w 2020 r. do 22% do 2050 r., z czego 90% będzie wykorzystywane w połączeniu z systemami CCUS.

Technologie, które są obecnie dostępne na rynku zapewnią do 2030 r. około 85% oszczędności emisji w produkcji stali. Obejmują one środki w zakresie efektywnego wykorzystania materiałów i efektywności energetycznej oraz znaczny wzrost produkcji opartej na złomie – wymagającej jedynie około jednej dziesiątej energii potrzebnej do produkcji stali pierwotnej – napędzany przede wszystkim większą dostępnością złomu w miarę kończenia się okresu użytkowania coraz większej liczby produktów. Dodawanie wodoru do komercyjnych wielkich pieców i pieców DRI zwiększy się w połowie lat 2020, w oparciu o projekty pilotażowe testujące tę praktykę już w dniu dzisiejszym. Po 2030 r. większość redukcji emisji pochodzić będzie z zastosowania technologii, które są w trakcie opracowywania, w tym DRI na bazie wodoru i elektrolizy rudy żelaza. Równolegle wdrażanych będzie kilka technologii wyposażonych w CCUS, w tym innowacyjna redukcja przez wytapianie, naturalna produkcja DRI na bazie gazu ziemnego (szczególnie w regionach o niskich cenach gazu ziemnego) oraz innowacyjne rozwiązania w zakresie modernizacji wielkich pieców w regionach, w których istnieją stosunkowo nowe zakłady.

Produkcja cementu

Wyprodukowanie tony cementu generuje dziś średnio około 0,6 tony CO₂, z czego dwie trzecie to emisje technologiczne pochodzące z węgla uwolnionego z użytych surowców. Paliwa kopalne – głównie węgiel i trochę koksu naftowego – zaspokajają 90% zapotrzebowania na energię cieplną.

Zwiększone dodatki materiałów alternatywnych do cementu w celu zastąpienia części klinkieru (składnika aktywnego i powodującego największe emisje), niższy popyt na cement oraz działania zwiększające efektywność energetyczną przyniosą około 40% ograniczenia emisji w 2030 r. w porównaniu z 2020 r. Dzięki zastosowaniu cementów mieszanych, globalna proporcja klinkieru do cementu zmniejszy się z 0,71 w 2020 r. do 0,65 w 2030 r. Po 2030 r. proporcja ta nadal będzie spadać, ale wolniej, osiągając 0,57 w 2050 r. (w cementach mieszanych może występować proporcja klinkieru do cementu nawet na poziomie 0,5, ale potencjał ich zastosowania na rynku zależy od warunków regionalnych). Do 2050 r. wapień i glina kalcynowana będą głównymi alternatywnymi materiałami stosowanymi w cementach mieszanych. Ponieważ 0,5 to najniższa technicznie osiągalna proporcja klinkieru do cementu, konieczne są inne środki w celu osiągnięcia większych redukcji emisji.

W scenariuszu NZE, po roku 2030 większość redukcji emisji pochodzić będzie z wykorzystania technologii, które są obecnie w fazie rozwoju. Największe znaczenie mieć będzie CCUS, które odpowiadać będzie za 55% redukcji w 2050 r. w porównaniu z dniem dzisiejszym. W wielu przypadkach w scenariuszu NZE bardziej opłacalne będzie zastosowanie CCUS w odniesieniu do emisji ze spalania paliw kopalnych niż przejście na zeroemisyjne źródła energii. Do roku 2050 węgiel zostanie wyeliminowany z produkcji cementu, a gaz ziemny będzie zapewniać

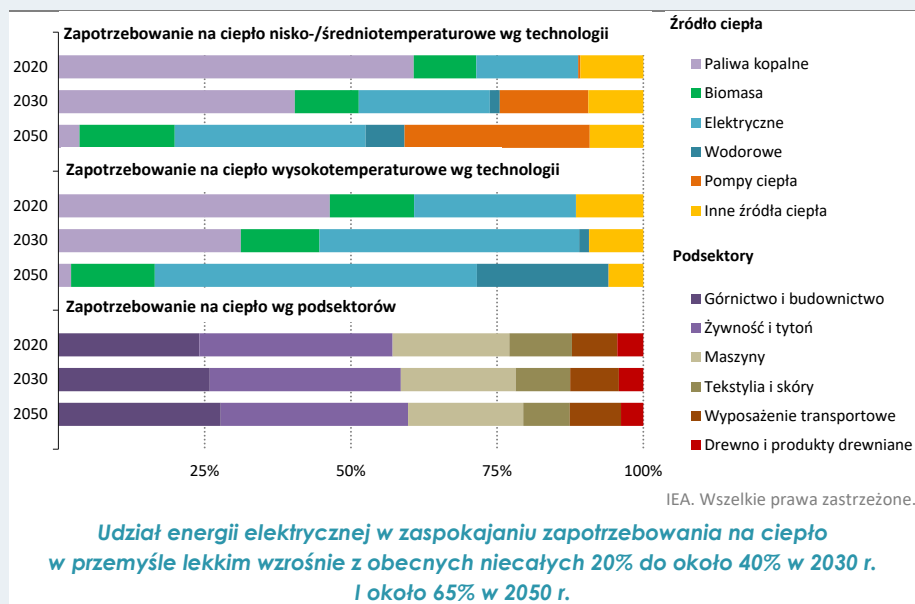
około 40% energii cieplnej (wzrost z obecnych 15%), biomasa i odpady odnawialne – kolejne 35% (wzrost z obecnego poziomu poniżej 5%), wodór i bezpośrednia elektryfikacja – tylko około 15%, a produkty ropopochodne i odpady nieodnawialne zapewnią będą pozostałą część. Ograniczenia w dostępności zrównoważonych dostaw biomasy nie pozwolą na osiągnięcie jej większego udziału. Bezpośrednia elektryfikacja pieców cementowych znajduje się obecnie w fazie niewielkiego prototypu, a więc na niewielką skalę zacznie być wdrażana dopiero po 2040 roku. Od 2040 r. wodór będzie zaspokajać około 10% zapotrzebowania na energię cieplną w piecach cementowych, chociaż wcześniej zacznie się dodawanie niewielkich ilości wodoru. Innowacyjne rodzaje cementu oparte na alternatywnych materiałach wiążących, które ograniczają lub zapobiegają powstawaniu emisji technologicznych, a nawet umożliwiają wychwytywanie CO₂ podczas procesu utwardzania, są albo wciąż na dużo wcześniejszym etapie rozwoju w porównaniu z innymi opcjami, takimi jak CCUS, albo mają ograniczone możliwości zastosowania.

Ramka 3.2 ► Co z innymi podsektorami przemysłu?

Stal, cement i produkty chemiczne to nie jedyne produkty sektora przemysłu. Sektor ten obejmuje również inne energochłonne podsektory, takie jak sektor aluminium, papieru, innych niemetalowych surowców mineralnych i metali nieżelaznych, a także branże przemysłu lekkiego, w których wytwarzane są pojazdy, maszyny, żywność, drewno, tekstylia i inne dobra konsumpcyjne, jak również zużywające energię budownictwo i górnictwo.

Zgodnie ze scenariuszem ZEN, emisje z przemysłu lekkiego spadną o około 30% do 2030 r. i o około 95% do 2050 r. W przeciwieństwie do przemysłu ciężkiego, większość technologii wymaganych do dużej redukcji emisji w tych podsektorach jest dostępna na rynku i gotowa do wdrożenia. Wynika to częściowo z faktu, że ponad 90% całkowitego zapotrzebowania na ciepło to ciepło nisko- i średnitemperaturowe, które umożliwia łatwiejszą i skuteczniejszą elektryfikację.

Rysunek 3.20 ▸ Udział technologii grzewczych w zależności od poziomu temperatury w przemyśle lekkim w scenariuszu NZE



Wyjaśnienie: Przemysł lekki nie obejmuje nieokreślonego przemysłowego zużycia energii. Ciepło nisko-/średniotemperaturowe to ciepło o temperaturze 0-400 °C, a ciepło wysokotemperaturowe – o temperaturze >400 °C. Inne źródła ciepła to kolektory słoneczne i źródła geotermalne, a także ciepło importowane z sektora elektroenergetyki i przekształcania paliw.

Energia elektryczna będzie odpowiadać za około 40% zapotrzebowania na ciepło do 2030 r. i około 65% do 2050 r. W przypadku ciepła o niskiej temperaturze (<100 °C) i niektórych średnich temperaturach (100-400 °C), elektryfikacja obejmować będzie ważną rolę pomp ciepła (odpowiadających za około 30% całkowitego zapotrzebowania na ciepło w 2050 r.). W scenariuszu NZE w ciągu najbliższych 30 lat konieczna będzie instalacja pomp ciepła o mocy około 500 MW miesięcznie. Oprócz elektryfikacji, mniejszą rolę odgrywać będą wodór i bioenergia w przypadku ciepła wysokotemperaturowego (>400°C), pokrywające odpowiednio około 20% i około 15% całkowitego zapotrzebowania na energię w 2050 r. (Rysunek 3.20.). Tempo zwiększania wydajności elektrolizerów będzie znacznie niższe niż w przypadku przemysłu ciężkiego, ale rozmiary urządzeń będą również znacznie mniejsze. Około 5% zapotrzebowania na ciepło zaspokajane będzie poprzez bezpośrednie wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, w tym grzewczych technologii solarnych oraz geotermalnych.

Również efektywność energetyczna będzie odgrywać kluczową rolę w tych gałęziach przemysłu wytwórczego, zwłaszcza dzięki zwiększonej wydajności silników elektrycznych (przenośniki, pompy i inne systemy napędowe). Do 2030 r. 90% silników sprzedawanych w innych branżach będzie silnikami klasy 3 lub wyższej.

3.5.2 Kluczowe etapy i punkty decyzyjne

Tabela 3.3 ► Kluczowe etapy transformacji podsektorów globalnego przemysłu ciężkiego

Kategoria			
Przemysł ciężki	• 2035 r.: praktycznie za cały wzrost mocy produkcyjnych w przemyśle ciężkim odpowiadać będą innowacyjne metody niskoemisyjne.		
Silniki przemysłowe	• 2035 r.: wszystkie sprzedawane silniki elektryczne będą najlepsze w swojej klasie.		
Kategoria	2020	2030	2050
Przemysł łazienie			
Udział energii elektrycznej w końcowym zużyciu ogółem	21%	28%	46%
Zapotrzebowanie na wodór (Mt H ₂)	51	93	187
wychwycony CO ₂ (Mt CO ₂)	3	375	2 800
Produkty chemiczne			
Udział recyklingu:			
ponowne użycie w zbiorce tworzyw sztucznych	17%	27%	54%
ponowne użycie w produkcji wtórnej	8%	14%	35%
Zapotrzebowanie na wodór (Mt H ₂)	46	63	83
z wykorzystaniem mocy elektrolizerów na miejscu (GW)	0	38	210
Udział produkcji prowadzonej innowacyjnymi metodami	1%	13%	93%
wychwycony CO ₂ (Mt CO ₂)	2	70	540
Stal			
Recykling, ponowne użycie: udział złomu w materiałach wsadowych	32%	38%	46%
Zapotrzebowanie na wodór (Mt H ₂)	5	19	54
z wykorzystaniem mocy elektrolizerów na miejscu (GW)	0	36	295
Udział w produkcji stali pierwotnej:			
DRI-EAF na bazie wodoru	0%	2%	29%
elektroliza rudy żelaza – EAF	0%	0%	13%
Procesy wyposażone w CCUS	0%	6%	53%
wychwycony CO ₂	1	70	670
Cement			
Proporcja klinkieru do cementu	0,71	0,65	0,57
Zapotrzebowanie na wodór (Mt H ₂)	0	2	12
Udział produkcji prowadzonej innowacyjnymi metodami	0%	9%	93%
wychwycony CO ₂ (Mt CO ₂)	0	215	1 355

Wyjaśnienie: DRI = bezpośrednio redukowane żelazo; EAF = elektryczny piec łukowy.

W scenariuszu NZE, począwszy od 2030 r. wszystkie nowe obiekty produkcyjne będą wyposażone w technologie o niemal zerowej emisji. Znaczna część mocy produkcyjnych przemysłu ciężkiego, które zostaną dodane i zastąpione w nadchodzących latach, będzie znajdować się na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się; mogą one oczekiwać wsparcia finansowego ze strony gospodarek rozwiniętych. Zgodnie ze

scenariuszem NZE, w latach 2030-2050, w każdym miesiącu 1 nowych zakładów przemysłowych będzie wyposażanych w systemy CCUS, powstaną trzy nowe zakłady przemysłowe bazujące całkowicie na wodorze, a w zakładach przemysłowych moc elektrolizerów będzie zwiększana o 2 GW. Będzie to trudne, ale możliwe do zrealizowania. Dla porównania, w latach 2000-2015 samych Chinach budowano od podstaw średnio około 12 obiektów przemysłu ciężkiego miesięcznie. Do 2050 r. niemal cała produkcja w przemyśle ciężkim będzie odbywać się z wykorzystaniem technologii o niemal zerowych emisjach.

Zdecydowane działania ze strony rządów są niezbędne do realizacji transformacji ku czystej energii w przemyśle ciężkim w skali i tempie przewidzianym w scenariuszu NZE. W ciągu najbliższych dwóch lat rządy państw o rozwiniętych gospodarkach będą musiały podjąć decyzje dotyczące finansowania badań i rozwoju w zakresie kluczowych technologii przemysłowych o niemal zerowych emisjach oraz złagodzenia ryzyka inwestycyjnego związanego z ich demonstracją na dużą skalę. Powinno to doprowadzić do realizacji co najmniej dwóch lub trzech komercyjnych projektów demonstracyjnych dla każdej technologii w różnych regionach oraz do wprowadzenia ich na rynek do połowy lat 2020. Międzynarodowa koordynacja i współpraca ułatwiłyby lepsze wykorzystanie zasobów i pomogłyby uniknąć luk w finansowaniu.

Rządy muszą również odpowiednio wcześniej podjąć decyzje o wdrożeniu na szeroką skalę technologii o niemal zerowych emisjach. Do 2024 r. w gospodarkach rozwiniętych i do 2026 r. na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się, rządy powinny dysponować strategią wykorzystania technologii o niemal zerowych emisjach w następnym cyklu zwiększania mocy produkcyjnych obiektów i wymiany zakładów hutniczych i chemicznych, która powinna obejmować decyzje o tym, czy należy stosować systemy CCUS bądź wodór, czy też kombinację obu tych technologii. Jeśli strategię te mają odnieść sukces, muszą zawierać konkretne plany rozwoju i finansowania niezbędnej infrastruktury dla technologii CCUS i/lub wodoru, wraz z wytwarzaniem czystej energii elektrycznej na potrzeby produkcji wodoru. Budowa niezbędnej infrastruktury powinna rozpocząć się jak najszybciej, biorąc pod uwagę długi czas jej realizacji.

W zbliżonych ramach czasowych rządy krajów produkujących cement powinny zdecydować, jak rozwinąć niezbędną infrastrukturę CCUS dla tego podsektora, w tym niezbędne ramy prawne i regulacyjne. Kraje importujące powinny przygotować plany stopniowego przechodzenia na wyłączne stosowanie cementu niskoemisyjnego, co może wiązać się z potrzebą wspierania rozwoju zakładów wyposażonych w systemy CCUS w innych miejscach w celu zapewnienia dostaw i uniknięcia nieproporcjonalnego obciążenia innych krajów.

Przyjmowane strategie muszą być poparte konkretną polityką. Do 2025 r. wszystkie kraje powinny dysponować długoterminowymi ramami politycznymi w zakresie redukcji emisji CO₂ w celu zagwarantowania, że kolejna fala inwestycji w zwiększanie zdolności wytwórczych będzie oparta na technologiach o niemal zerowej emisji. Skuteczne strategie będą prawdopodobnie wymagać środków wstępnych, takich jak kontrakty na różnicę w emisji dwutlenku węgla, zamówienia publiczne i zachęty do składania zamówień w sektorze prywatnym. W miarę wdrażania nowych technologii i obniżania się kosztów, około 2030 r.

prawdopodobnie pojawią się mocne argumenty za zastąpieniem tych początkowych środków innymi, takimi jak podatki od emisji CO₂, systemy handlu uprawnieniami do emisji i normy emisji. Wsparcie finansowe dla zwiększania zdolności produkcyjnych o niemal zerowej emisji może również odegrać ważną rolę dzięki środkom takim jak niskooprocentowane i preferencyjne pożyczki oraz finansowanie mieszane, a także dzięki wkładom gospodarek rozwiniętych w fundusze wspierające projekty na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się. Strategie powinny również obejmować środki mające na celu zmniejszenie emisji przemysłowych poprzez efektywne wykorzystanie materiałów, na przykład poprzez zmianę przepisów dotyczących projektowania, wdrożenie zachęt do promowania dłuższych okresów eksploatacji produktów i budynków oraz poprawę systemów zbierania i sortowania materiałów do recyklingu.

Istnieją mocne argumenty przemawiające za zawarciem międzynarodowego porozumienia w sprawie przejścia na niemal zerowy poziom emisji w odniesieniu do produktów będących przedmiotem handlu światowego do połowy 2020 r., tak aby ustanowić równe warunki konkurencji. W przeciwnym razie kraje mogą być zmuszone do uciekania się do środków mających na celu ochronę krajowej produkcji o niemal zerowej emisji przed konkurencją ze strony produktów powodujących emisje. Każda taka polityka musiałaby być opracowana z poszanowaniem ram prawnych regulujących handel międzynarodowy, takich jak ramy Światowej Organizacji Handlu.

Nawet przy przyspieszonym tempie wprowadzania innowacji i wdrożeniu zdecydowanych polityk, w następnej dekadzie, zanim dostępne będą technologie o niemal zerowej emisji, konieczne będzie dodanie pewnych wysokoemisyjnych mocy wytwórczych w celu zaspokojenia popytu. Racjonalne byłoby wprowadzenie przez rządy wymogu, aby każdy nowy obiekt produkcyjny obejmował projekty gotowe do modernizacji, tak aby obiekty produkcyjne niewyposażone w systemy redukcji emisji dodane w ciągu najbliższych kilku lat posiadały możliwości techniczne i wymaganą przestrzeń do integracji technologii o niemal zerowych emisjach w nadchodzących latach. W ramach scenariusza NZE, po 2030 r. inwestycje ograniczą się do innowacyjnych technologii o niemal zerowych emisjach.

Rządy nie powinny pomijać potrzeby wprowadzenia środków mających na celu przyspieszenie wdrażania już dostępnych technologii o niemal zerowych emisjach w gałęziach lekkiego przemysłu wytwórczego. Najprostszym sposobem osiągnięcia tego celu może być wprowadzenie ceny emisji dwutlenku węgla, a następnie jej odpowiednie zwiększanie w miarę upływu czasu – poprzez podatki od emisji dwutlenku węgla lub systemy handlu uprawnieniami do emisji dla większych producentów. Inne środki regulacyjne, takie jak standardy dla paliw niskoemisyjnych będących przedmiotem obrotu handlowego i normy emisji, mogłyby przynieść ten sam rezultat, ale mogą być bardziej złożone pod względem administracyjnym. W celu osiągnięcia oszczędności w zakresie efektywności energetycznej przewidzianej w scenariuszu NZE, prawdopodobnie konieczne będzie wprowadzenie nakazów dotyczących technologii, takich jak minimalne normy dotyczące charakterystyki energetycznej nowych silników i kotłów. Pomocną rolę mogłyby również odegrać dostosowane do potrzeb programy i zachęty dla małych i średnich przedsiębiorstw.

3.6 Transport

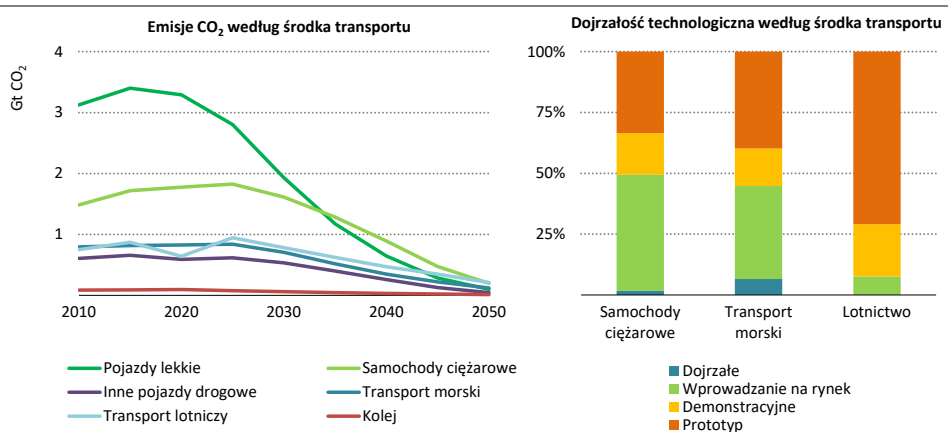
3.6.1 *Trendy w zakresie energii i emisji w scenariuszu zerowych emisji netto*

Globalny sektor transportu wyemitował ponad 7 Gt CO₂ w 2020 r. i prawie 8,5 Gt w 2019 r. przed pandemią COVID-19.⁷ W scenariuszu NZE emisje CO₂ w sektorze transportu wyniosą w 2030 r. nieco ponad 5,5 Gt. Do 2050 r. wyniosą one około 0,7 Gt, co oznacza spadek o 90% w stosunku do poziomu z 2020 r. Emisje CO₂ zmniejszą się nawet przy gwałtownym wzroście liczby przewozów pasażerskich, która do 2050 r. ulegnie niemal podwojeniu, oraz przy rosnącej liczbie przewozów towarowych, która wzrośnie dwuipółkrotnie w stosunku do obecnego poziomu, a także przy wzroście globalnej floty samochodów osobowych z 1,2 mld pojazdów w 2020 r. do niemal 2 mld w 2050 r.

Poszczególne rodzaje transportu nie przechodzą procesu dekarbonizacji w tym samym tempie, ponieważ dojrzałość technologiczna jest w nich bardzo zróżnicowana (Rysunek 3.21). Do 2040 r. z prawie znikną emisje CO₂ z pojazdów dwu-/trzykołowych, a następnie, pod koniec lat 2040., to samo stanie się w przypadku emisji z samochodów osobowych i dostawczych oraz pojazdów szynowych. Emisje z dużych samochodów ciężarowych, transportu morskiego i lotnictwa będą spadać o średnio 6% rocznie w latach 2020-2050, ale w 2050 r. nadal łącznie wyniosą ponad 0,5 Gt CO₂. Odzwierciedla to przewidywany wzrost działalności oraz fakt, że wiele technologii niezbędnych do ograniczenia emisji CO₂ w transporcie na dużych odległościach znajduje się obecnie w fazie rozwoju i nie zacznie w znaczącym stopniu wchodzić na rynek w nadchodzącym dziesięcioleciu.

⁷ O ile nie zaznaczono inaczej, podane tu emisje CO₂ to bezpośrednie emisje z paliw kopalnych spalanych podczas eksploatacji pojazdów.

Rysunek 3.21 ▶ Globalne emisje CO₂ z transportu według rodzajów transportu i udział redukcji emisji do 2050 r. według stopnia zaawansowania technologii w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Samochody osobowe mogą korzystać z dostępnych na rynku technologii niskoemisyjnych, ale w przypadku samochodów ciężarowych, transportu morskiego i lotnictwa konieczne są znaczne postępy w celu ograniczenia ich emisji

Wyjaśnienie: Inne pojazdy drogowe = pojazdy dwu-/trzykołowe oraz autobusy. Transport morski i lotnictwo obejmują operacje zarówno krajowe, jak i międzynarodowe. Szczegółowe informacje na temat kategorii dojrzałości Przedstawiono w Ramce 2.4.

Dekarbonizacja sektora transportu w scenariuszu NZE opiera się na polityce promującej zmiany w wyborze środków transportu i bardziej efektywne operacje w różnych rodzajach transportu pasażerskiego (zob. punkty 2.5.7 i 4.4.3)⁸ oraz na poprawie efektywności energetycznej. Zależy ona również od dwóch głównych przemian technologicznych: przejścia na mobilność elektryczną (pojazdy elektryczne [EV] i pojazdy elektryczne z ogniwami paliwowymi [FCEV])⁹ oraz przejścia na wyższe współczynniki mieszania paliw i bezpośrednie wykorzystanie paliw niskoemisyjnych (biopaliwa i paliwa wodorowe). Zmiany te będą prawdopodobnie wymagać interwencji mających na celu stymulowanie inwestycji w infrastrukturę dostaw i zachęcanie konsumentów do korzystania z nich.

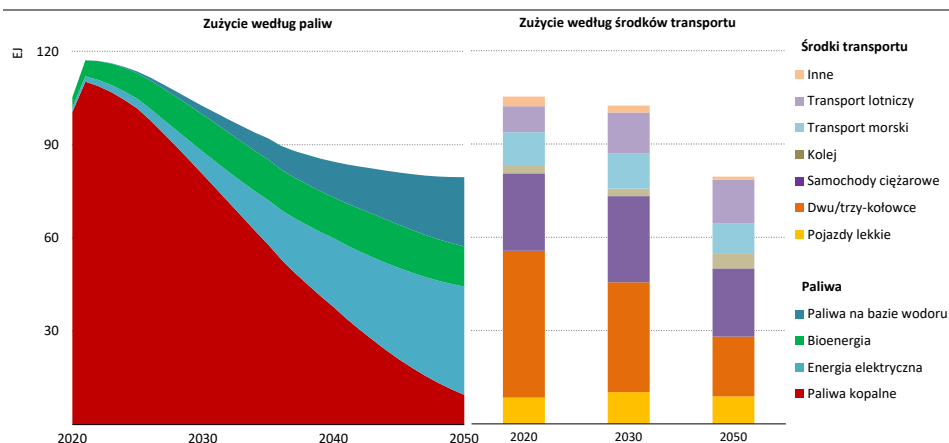
Transport jest tradycyjnie w dużym stopniu uzależniony od produktów ropopochodnych, które odpowiadały za ponad 90% potrzeb energetycznych sektora transportu w 2020 r.,

⁸ Przykłady efektywnych operacji obejmują płynną integrację różnych środków transportu (intermodalność) oraz „mobilność jako usługę” w transporcie pasażerskim; środki logistyczne w drogowym transporcie towarowym, np. backhauling, dostawy nocne, wyznaczanie tras w czasie rzeczywistym; ograniczenie prędkości w transporcie morskim; a także zarządzanie ruchem lotniczym, np. planowanie lądowań i startów w lotnictwie.

⁹ Pojazdy elektryczne obejmują pojazdy elektryczne z zasilaniem akumulatorowym, hybrydowe pojazdy elektryczno-spalinowe z silnikiem benzynowym typu plug-in oraz hybrydowe pojazdy elektryczno-spalinowe z silnikiem wysokoprężnym typu plug-in. Pojazdy wyposażone w napęd z ogniwami paliwowymi (FCEV) są wyposażone w akumulator i silnik elektryczny i mogą być eksploatowane bez emisji spalin.

pomimo zwiększonego wykorzystania biopaliw i energii elektrycznej (Rysunek 3.22). W scenariuszu NZE udział ropy naftowej spadnie do mniej niż 75% w 2030 r. i nieco ponad 10% do 2050 r. Na początku lat 2040. w scenariuszu NZE energia elektryczna stanie się dominującym paliwem w sektorze transportu na całym świecie, odpowiadając za prawie 45% całkowitego zużycia końcowego w 2050 r.; kolejnymi paliwami będą paliwa wodorowe (28%) i bioenergia (16%). Do 2030 r. osiągnięty zostanie poziom niemal 15% domieszek biopaliw do produktów ropopochodnych w transporcie drogowym, co zmniejszy zapotrzebowanie na ropę naftową o około 4,5 mln baryłek ekwiwalentu ropy naftowej dziennie (mboe/d). Po 2030 r. biopaliwa będą w coraz większym stopniu wykorzystywane w lotnictwie i transporcie morskim, gdzie możliwości wykorzystania energii elektrycznej i wodoru są bardziej ograniczone. Nośniki wodoru (takie jak amoniak) i niskoemisyjne paliwa syntetyczne również będą zaspokajać coraz większą część zapotrzebowania na energię w tych rodzajach transportu.

Rysunek 3.22 ▶ Zużycie końcowe w transporcie globalnym według rodzaju paliwa i rodzaju transportu w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Do 2050 r. energia elektryczna i paliwa wodorowe pokryją ponad 70% zapotrzebowania na energię w transporcie

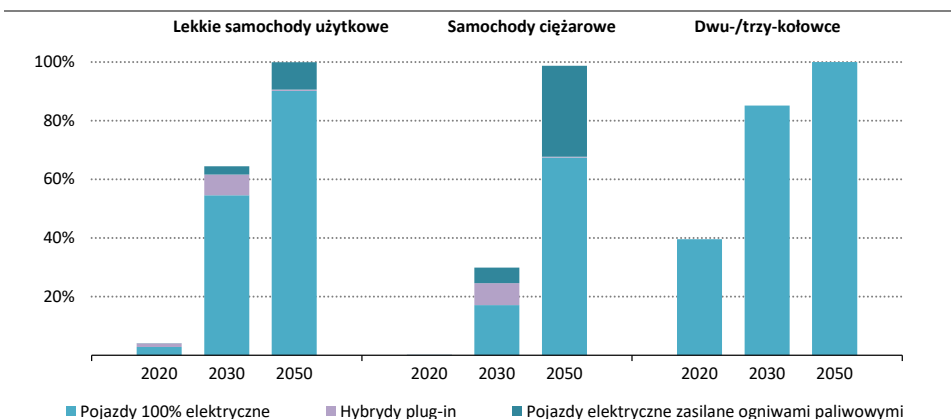
Wyjaśnienie: LDV = lekkie pojazdy ciężarowe; Inne pojazdy drogowe = pojazdy dwu-/trzykołowe i autobusy.

Pojazdy drogowe

Elektryfikacja odgrywa kluczową rolę w dekarbonizacji pojazdów drogowych w scenariuszu NZE. Spadek kosztów akumulatorów o prawie 90% w ciągu dekady spowodował wzrost sprzedaży elektrycznych samochodów osobowych średnio o 40% w ciągu ostatnich pięciu lat. Technologia akumulatorów jest już stosunkowo konkurencyjna na rynku. W scenariuszu NZE pojazdy FCEV zaczną pojawiać się na rynku latami 2020. Elektryfikacja dużych samochodów ciężarowych będzie postępować wolniej ze względu na masę akumulatorów, wysokie

zapotrzebowanie na energię i moc potrzebną do ładowania, a także ograniczenia zasięgu jazdy. Jednak w przypadku dużych samochodów ciężarowych z ogniwami paliwowymi nastąpi znaczny postęp, zwłaszcza po roku 2030 (Rysunek 3.23). Liczba pojazdów lekkich (samochodów osobowych i dostawczych) z napędem elektrycznym z zasilaniem akumulatorowym, hybrydowym typu plug-in i elektrycznym z ogniwami paliwowymi na drogach całego świata osiągnie 350 mln w 2030 r. i prawie 2 mld w 2050 r., w porównaniu z 11 mln w 2020 r. Liczba elektrycznych pojazdów dwu-/trzykołowych również szybko wzrośnie, z niecałych 300 milionów obecnie, do 600 milionów w 2030 r. i 1,2 miliarda w 2050 r. Flota autobusów elektrycznych zwiększy się z 0,5 mln w 2020 r. do 8 mln w 2030 r. i 50 mln w 2050 r.

Rysunek 3.23 ► Globalny udział pojazdów elektrycznych zasilanych z akumulatorów, pojazdów hybrydowych typu plug-in i pojazdów elektrycznych zasilanych ogniwami paliwowymi w całkowitej sprzedaży według typu pojazdu w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

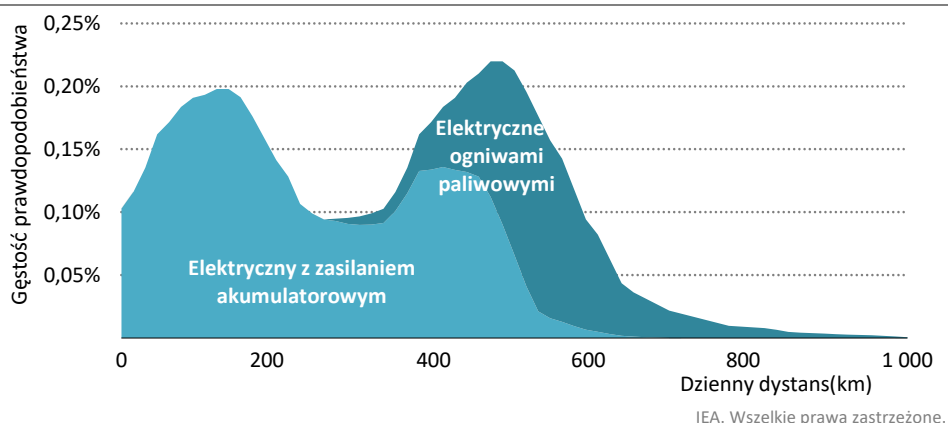
Sprzedaż pojazdów elektrycznych z zasilaniem akumulatorowym, pojazdów hybrydowych typu plug-in i pojazdów z ogniwami paliwowymi wzrośnie na całym świecie

Wyjaśnienie: Pojazdy lekkie = samochody osobowe i dostawcze; Ciężkie samochody ciężarowe = średnie i ciężkie pojazdy ciężarowe.

W perspektywie średniookresowej w gospodarkach rozwiniętych pojazdy lekkie będą elektryfikowane szybciej i do 2030 r. będą odpowiadać za około 75% sprzedaży. Na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się odpowiadać będą za około 50% sprzedaży. Prawie cała sprzedaż pojazdów lekkich w gospodarkach rozwiniętych będzie dotyczyć pojazdów elektrycznych zasilanych z akumulatorów, pojazdów hybrydowych typu plug-in lub pojazdów z ogniwami paliwowymi już na początku lat 2030, a na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się – do połowy lat 2030.

W przypadku dużych samochodów ciężarowych jeżdżących na długich trasach, biopaliwa są obecnie główną realną alternatywą handlową dla oleju napędowego i odegrają one ważną rolę w obniżaniu emisji z dużych samochodów ciężarowych w latach 2020. Po 2030 r. liczba dużych elektrycznych i napędzanych wodorem samochodów ciężarowych wzrośnie w scenariuszu NZE wraz z budową infrastruktury pomocniczej i spadkiem kosztów (niższe koszty akumulatorów, poprawa gęstości energii oraz niższe koszty produkcji i dostarczania wodoru) (IEA, 2020b). Zbiegnie się to z ograniczeniem dostępności zrównoważonej bioenergii, ponieważ ograniczone dostawy w coraz większym stopniu będą trafiać do segmentów, gdzie wprowadzenie rozwiązań eliminujących emisje jest utrudnione, takich jak lotnictwo i transport morski, chociaż w 2050 r. biopaliwa nadal będą zaspokajać około 10% zapotrzebowania na paliwo do dużych pojazdów ciężarowych (zob. Rozdział 2). W 2030 r. gospodarki rozwinięte będą charakteryzować się większym udziałem w sprzedaży dużych samochodów ciężarowych o napędzie elektrycznym z zasilaniem akumulatorowym i z ogniwami paliwowymi, który będzie ponad dwukrotnie większy niż w przypadku rynków wschodzących i gospodarek rozwijających się, choć różnica ta zmniejszy się do 2050 r.

Rysunek 3.24 ▶ Rozkład samochodów ciężarowych według codziennie pokonywanej odległości, 2050 r.



Pokonywana odległość jest kluczowym czynnikiem wpływającym na wybór układu napędowego do samochodów ciężarowych

Realizacja celów scenariusza ZEN zależy od szybkiego zwiększenia poziomu produkcji akumulatorów (obecnie zapowiadane na 2030 r. zdolności produkcyjne pokryłyby jedynie 50% zapotrzebowania w tym roku) oraz od szybkiego wprowadzenia na rynek technologii akumulatorów nowej generacji (akumulatorów półprzewodnikowych) w latach 2025-2030. Systemy dróg zelektryfikowanych, wykorzystujące przewodowy lub indukcyjny przesył energii elektrycznej do zasilania samochodów ciężarowych, stanowią alternatywę dla samochodów ciężarowych o napędzie elektrycznym zasilanych z akumulatorów lub ogniw paliwowych w ruchu na długich trasach, ale również te systemy wymagałyby szybkiego opracowania i wdrożenia.

W scenariuszu NZE przewiduje się, że przewozy lotnicze, mierzone w pasażerokilometrach, wzrosną do 2050 r. jedynie o około 3% rocznie w porównaniu z rokiem 2020. Dla porównania, w latach 2010-19 wzrost ten wyniósł około 6%. Zgodnie ze scenariuszem NZE, wzrost sektora lotnictwa będzie ograniczany przez kompleksową politykę rządową, która będzie promować przejście na szybką kolej i powstrzyma wzrost w obszarze długodystansowych podróży służbowych, np. poprzez opodatkowanie komercyjnych lotów pasażerskich (zob. Punkt 2.5.2).

Globalne emisje CO₂ z lotnictwa wzrosną w scenariuszu NZE z około 640 Mt w 2020 r. (spadek z około 1 Gt w 2019 r.) do wartości szczytowej wynoszącej 950 Mt około 2025 r. Następnie emisje spadną do 210 Mt w 2050 r. w miarę wzrostu wykorzystania paliw niskoemisyjnych. Emisje będą trudne do ograniczenia, ponieważ lotnictwo wymaga paliwa o dużej gęstości energii. W 2050 r. emisje z lotnictwa stanowiąc będą nieco ponad 10% emisji CO₂ z paliw kopalnych i procesów przemysłowych powstających bez systemów ich ograniczania.

W scenariuszu NZE globalne zużycie ropy lotniczej spadnie do około 3 EJ w 2050 r. z 9 EJ w 2020 r. (i około 14,5 EJ w 2019 r. przed kryzysem wywołanym pandemią COVID-19), a jej udział w całkowitym zużyciu energii spadnie z prawie 100% do nieco ponad 20%. Wykorzystanie zrównoważonego paliwa lotniczego (SAF) zacznie znacząco wzrastać pod koniec lat 2020. W 2030 r. za około 15% całkowitego zużycia paliwa w lotnictwie odpowiadać będzie SAF, z czego większość stanowić będzie nafta biojet (rodzaj biopaliwa płynnego). Szacuje się, że spowoduje to wzrost ceny biletu na lot średniodystansowy (1 200 km) o około 3 USD na pasażera. Do 2050 r. biojet będzie zaspokajać 45% całkowitego zużycia paliwa w lotnictwie, a paliwa syntetyczne na bazie wodoru – około 30%. Szacuje się, że w 2050 r. spowoduje to wzrost ceny biletu na lot średniodystansowy o około 10 USD na pasażera. W scenariuszu NZE przewidziano również wprowadzanie od 2035 r. komercyjnych samolotów elektrycznych na akumulatory i zasilanych wodorem, ale ich udział w zużyciu paliwa w 2050 r. wyniesie mniej niż 2%.

Usprawnienia operacyjne, wraz z technologiami zmniejszającymi zużycie paliwa w płatowcach i silnikach, również przyczynią się do zmniejszenia emisji CO₂ w scenariuszu NZE poprzez ograniczenie tempa wzrostu zapotrzebowania na paliwo. Ulepszenia te mają charakter przyrostowy, ale rewolucyjne technologie, takie jak otwarte wirniki, płatowce ze skrzydłem rozmytym i hybrydyzacja, mogą przynieść dalsze korzyści i umożliwić branży realizację ambitnych celów Organizacji Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (ICAO) w zakresie efektywności do 2050 r. (IEA, 2020b).

¹⁰ Lotnictwo, o którym tu mowa, obejmuje zarówno loty krajowe, jak i międzynarodowe. Chociaż w niniejszym dokumencie skoncentrowano się na komercyjnym lotnictwie pasażerskim, w obliczeniach dotyczących energii i emisji uwzględniono również specjalne lotnictwo towarowe i ogólne (wojskowe i prywatne), które łącznie odpowiadają za ponad 10% zużycia paliwa i emisji.

Transport morski¹¹

Transport morski była odpowiedzialny w 2020 r. za około 830 Mt CO₂ emisji na całym świecie (880 Mt CO₂ w 2019 r.), co stanowi około 2,5 % całkowitych emisji sektora energii. Ze względu na brak dostępnych na rynku opcji niskoemisyjnych i długi okres eksploatacji statków (zazwyczaj 25-35 lat), transport morski jest jednym z niewielu rodzajów transportu, który nie osiągnie w scenariuszu NZE zerowego poziomu emisji do 2050 r. Niemniej jednak emisje pochodzące z transportu morskiego będą zmniejszać się o 6% rocznie i w 2050 r. osiągną poziom 120 Mt CO₂.

W perspektywie krótkoterminowej istnieją znaczne możliwości ograniczenia zużycia paliwa w transporcie morskim poprzez działania mające na celu optymalizację efektywności operacyjnej i poprawę efektywności energetycznej. Takie działania obejmują zmniejszenie prędkości i wykorzystanie technologii wspomagania wiatrem (IEA, 2020b). W średniej i długiej perspektywie czasowej, w scenariuszu NZE można osiągnąć znaczne ograniczenie emisji poprzez przejście na paliwa niskoemisyjne, takie jak biopaliwa, wodór i amoniak. Amoniak wydaje się być szczególnie dobrym kandydatem do zwiększenia skali, a także kluczowym paliwem dla podróży transoceanicznych na długich trasach, które wymagają paliwa o dużej gęstości energetycznej.

Amoniak i wodór są głównymi niskoemisyjnymi paliwami dla transportu morskiego wdrażanymi w ciągu najbliższych trzech dekad w scenariuszu NZE, a ich łączny udział w całkowitym zużyciu energii w transporcie morskim osiągnie około 60% w 2050 r. Dwadzieścia największych portów na świecie odpowiada za ponad połowę globalnego ładunku (UNCTAD, 2018); mogłyby one stać się węzłami przemysłowymi do produkcji wodoru i amoniaku do wykorzystania zarówno w przemyśle chemicznym i rafineryjnym, jak również do tankowania statków. Silniki spalinowe dla statków zasilanych amoniakiem są obecnie opracowywane przez dwóch największych producentów silników morskich i przewiduje się, że będą one dostępne na rynku do 2024 roku. Zrównoważone biopaliwa zaspokajać będą prawie 20% całkowitego zapotrzebowania na energię w transporcie morskim w 2050 r. Elektryczność odgrywać będzie bardzo niewielką rolę, ponieważ stosunkowo niska gęstość energii akumulatorów w porównaniu z paliwami płynnymi sprawia, że jest ona odpowiednia jedynie dla tras o długości do 200 km. Nawet przy 85% wzroście gęstości energii akumulatorów w scenariuszu NZE w miarę wprowadzania na rynek akumulatorów półprzewodnikowych, elektryfikacja może dotyczyć jedynie krótkich tras transportu morskiego.

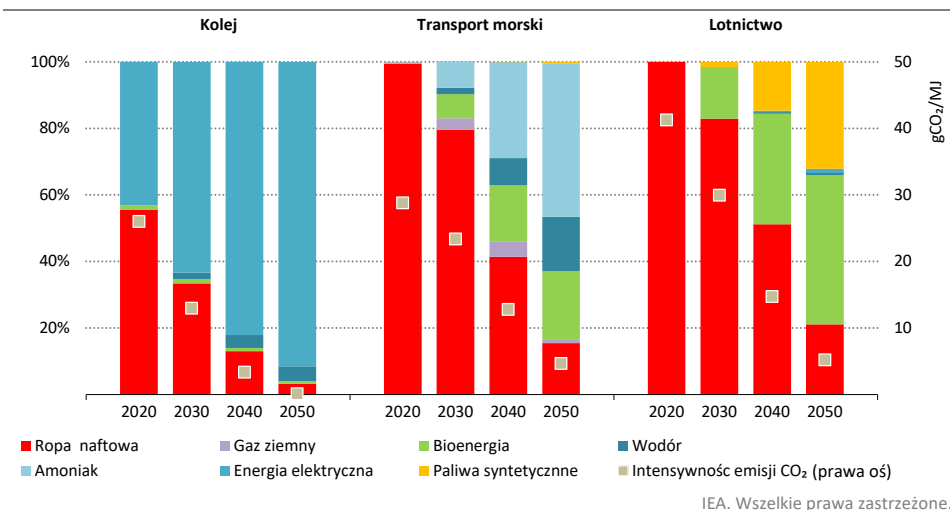
Kolej

Transport kolejowy jest najbardziej energooszczędnym i najmniej emisyjnym sposobem przemieszczania się ludzi, a pod względem przewozu towarów ustępuje jedynie transportowi morskemu. W scenariuszu NZE, kolej pasażerska niemal podwoi swój udział w całości działalności transportowej do 2050 r. do poziomu 20%, przy szczególnie szybkim wzroście w obszarze kolei miejskiej i kolei dużych prędkości (KDP), z których ta druga przyczyni się do

¹¹ Transport morski obejmuje operacje zarówno krajowe, jak i międzynarodowe.

ograniczenia wzrostu w sektorze przewozów lotniczych. Globalne emisje CO₂ z sektora kolejowego spadną w scenariuszu NZE z 95 Mt CO₂ w 2020 r. (100 Mt CO₂ w 2019 r.) do niemal zera do 2050 r., głównie dzięki szybkiej elektryfikacji.

Rysunek 3.25 ▶ Globalne zużycie energii według paliw i intensywności emisji CO₂ w sektorach innych niż transport drogowy w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Dekarbonizacja kolei w znacznym stopniu będzie polegać na wykorzystaniu energii elektrycznej, natomiast transport morski i lotnictwo ograniczać będą emisje głównie poprzez przejście na paliwa niskoemisyjne

Wyjaśnienie: Paliwo syntetyczne = niskoemisyjne syntetyczne paliwa na bazie wodoru.

W scenariuszu NZE wszystkie nowe tory w korytarzach o dużej przepustowości będą od tej pory zelektryfikowane, natomiast pociągi z napędem wodorowym i akumulatorowym, które niedawno zademonstrowano w Europie, będą wprowadzane na liniach kolejowych, na których przepustowość jest zbyt niska, aby elektryfikacja była ekonomicznie opłacalna. Zużycie ropy naftowej, które w 2020 r. stanowiło 55% całkowitego zużycia energii w sektorze kolejowym, w 2050 r. spadnie niemal do zera: zostanie ono zastąpione energią elektryczną, która zaspokajać będzie ponad 90% zapotrzebowania kolei na energię, a także wodorem, który zaspokajać będzie kolejne 5%.

3.6.2 Kluczowe etapy i punkty decyzyjne

Tabela 3.4 ➤ Kluczowe etapy transformacji światowego sektora transportu

Kategoria	
Transport drogowy	• 2035 r.: globalny zakaz sprzedaży nowych samochodów z silnikami spalinowymi
Lotnictwo i transport morski	• Jak najszybsze wdrożenie rygorystycznych celów w zakresie ograniczenia intensywności emisji dwutlenku węgla.

Kategoria	2020	2030	2050
Transport drogowy			
Udział pojazdów PHEV, BEV i FCEV w sprzedaży:			
samochody osobowe	5%	64%	100%
pojazdy dwu-/trzykołowe	40%	85%	100%
autobusy	3%	60%	100%
samochody dostawcze	0%	72%	100%
samochody ciężarowe	0%	30%	99%
Domieszki biopaliw w produktach ropopochodnych	5%	13%	41%
Kolej			
Udział energii elektrycznej i wodoru w całkowitym zużyciu energii	43%	65%	96%
Wzrost aktywności spowodowany zmianą rodzajów transportu (wskaźnik 2020=100)	100	100	130
Lotnictwo			
Udział paliw syntetycznych na bazie wodoru w całkowitym zużyciu energii w lotnictwie	0%	2%	33%
Udział biopaliw w całkowitym zużyciu energii w lotnictwie	0%	16%	45%
Redukcja zapotrzebowania dzięki działaniom wpływającym na zachowania (wskaźnik 2020=100)	0	20	38
Transport morski			
Udział w całkowitym zużyciu energii w transporcie morskim:			
Amoniak	0%	8%	46%
Wodór	0%	2%	17%
Bioenergia	0%	7%	21%
Infrastruktura			
Publiczne ładowanie pojazdów elektrycznych (mln sztuk)	1,3	40	200
Urządzenia do tankowania wodoru	540	18 000	90 000
Udział zelektryfikowanych linii kolejowych	34%	47%	65%

Wyjaśnienie: PHEV = hybrydowe pojazdy elektryczne typu plug-in; BEV = pojazdy elektryczne zasilane z akumulatorów; FCEV = pojazdy elektryczne z ogniwami paliwowymi.

Elektryfikacja jest głównym sposobem ograniczenia emisji CO₂ z transportu drogowego i kolejowego; odpowiednie technologie są już dostępne na rynku i należy niezwłocznie przyspieszyć ich wdrażanie, wraz z wprowadzeniem infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych. Głęboka redukcja emisji w sektorach, w których trudno jest ją osiągnąć (samochody ciężarowe, transport morski i lotnictwo), wymagać będzie w ciągu najbliższej dekady znacznego zwiększenia skali wymaganych technologii, które obecnie znajdują się głównie na etapie prototypów i demonstracji, wraz z planami rozwoju infrastruktury towarzyszącej, w tym stacji tankowania wodoru.

Transformacja sektora transportu, która jest konieczna, aby osiągnąć redukcję emisji zgodnie ze scenariuszem NZE, wymagać będzie podjęcia przez rządy szeregu decyzji w ciągu następnej dekady. W ciągu najbliższych kilku lat wszystkie rządy muszą zlikwidować dopłaty do paliw kopalnych i zachęcać do przechodzenia na technologie i paliwa niskoemisyjne w całym sektorze transportu. Przed 2025 r. rządy muszą określić jasne priorytety w zakresie badań i rozwoju dla wszystkich technologii, które mogą przyczynić się do dekarbonizacji transportu, zgodnie ze swoimi strategicznymi priorytetami i potrzebami. Idealnie byłoby, gdyby odbywało się to w oparciu o międzynarodowy dialog i współpracę. Zasadnicze znaczenie mają prace badawczo-rozwojowe, zwłaszcza w przypadku technologii produkcji akumulatorów, które powinny natychmiast stać się priorytetem.

Aby osiągnąć redukcję emisji wymaganą zgodnie ze scenariuszem NZE, rządy muszą również szybko zasygnalizować zakończenie sprzedaży nowych samochodów z silnikami spalinowymi. Szybkie przyjęcie zobowiązań pomogłoby sektorowi prywatnemu w dokonaniu niezbędnych inwestycji w nowe układy napędowe, odpowiednie łańcuchy dostaw i infrastrukturę tankowania (zob. punkt 4.3.4). Jest to szczególnie ważne w przypadku dostaw metali do produkcji akumulatorów, które wymagają długoterminowego planowania (IEA, 2021a).

Do 2025 r. zakrojone na szeroką skalę wprowadzenie publicznej infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych na obszarach miejskich musi być na tyle zaawansowane, aby gospodarstwa domowe nieposiadające dostępu do prywatnych ładowarek mogły zdecydować się na korzystanie z pojazdów elektrycznych. Rządy powinny zapewnić zrównoważone modele biznesowe dla przedsiębiorstw instalujących ładowarki, usunąć bariery w planowaniu i budowie oraz wprowadzić środki regulacyjne, fiskalne i technologiczne, aby umożliwić inteligentne ładowanie i zachęcić do niego, a także zapewnić to, aby pojazdy elektryczne wspierały stabilność sieci elektrycznej i stymulować wykorzystanie zmiennych odnawialnych źródeł energii (IEA, 2021b).

W przypadku dużych samochodów ciężarowych, pojazdy z napędem elektrycznym na akumulatory dopiero zaczynają być dostępne na rynku, a w ciągu najbliższych kilku lat spodziewane jest pojawienie się na rynku technologii elektrycznych ogniw paliwowych. Współpracując z producentami samochodów ciężarowych, rządy powinny w najbliższym czasie podjąć działania mające na celu priorytetowe potraktowanie szybkiego wprowadzenia na rynek samochodów ciężarowych o napędzie elektrycznym z zasilaniem akumulatorowym i ogniwami paliwowymi. Do 2030 r. powinny one dokonać bilansu perspektyw dla konkurencyjności tych technologii, tak aby skoncentrować prace badawczo-rozwojowe na najważniejszych wyzwaniach i zapewnić odpowiedni czas na strategiczne rozmieszczenie infrastruktury, torując w ten sposób drogę do ich przyjęcia na szeroką skalę w latach 2030.

Rządy muszą określić swoje strategie dotyczące paliw niskoemisyjnych w transporcie morskim i lotnictwie najpóźniej do 2025 r., biorąc pod uwagę powolne tempo wymiany flot, a następnie powinny je szybko wdrożyć. Kluczowe znaczenie dla powodzenia tych działań będzie mieć międzynarodowa współpraca i współdziałanie. Działania priorytetowe powinny być ukierunkowane na najbardziej intensywnie wykorzystywane porty i lotniska, tak aby zmaksymalizować wpływ inwestycji początkowych. Porty w pobliżu obszarów przemysłowych są idealnie przygotowane do tego, by stać się węzłami wykorzystania paliw niskoemisyjnych.

Ramka 3.3 ► Jakie byłyby implikacje podejścia do redukcji emisji w sektorze transportu drogowego bazującego wyłącznie na energii elektrycznej?

Stosowanie różnorodnych paliw w transporcie drogowym jest kluczowym elementem scenariusza NZE. Rządy mogą jednak rozważyć działania w celu wyeliminowania emisji CO₂ z transportu bazujące wyłącznie na energii elektrycznej, zwłaszcza jeśli inne technologie, takie jak pojazdy FCEV i zaawansowane biopaliwa, nie zostaną rozwinięte zgodnie z przewidywaniami. W związku z tym opracowaliśmy Casus Korzystania Wyłącznie z Pojazdów Elektrycznych, w którym analizujemy skutki elektryfikacji wszystkich rodzajów pojazdów drogowych. W scenariuszu NZE dekarbonizacja transportu drogowego następować będzie przede wszystkim poprzez wdrożenie hybrydowych pojazdów elektrycznych typu plug-in (PHEV), pojazdów elektrycznych z zasilaniem akumulatorowym (BEV), pojazdów elektrycznych z ogniwami paliwowymi (FCEV) oraz zaawansowanych biopaliw. Casus Korzystania Wyłącznie z Pojazdów Elektrycznych zakłada takie samo tempo dekarbonizacji transportu drogowego jak w scenariuszu NZE, ale osiągnięte wyłącznie dzięki pojazdom elektrycznym o napędzie akumulatorowym.

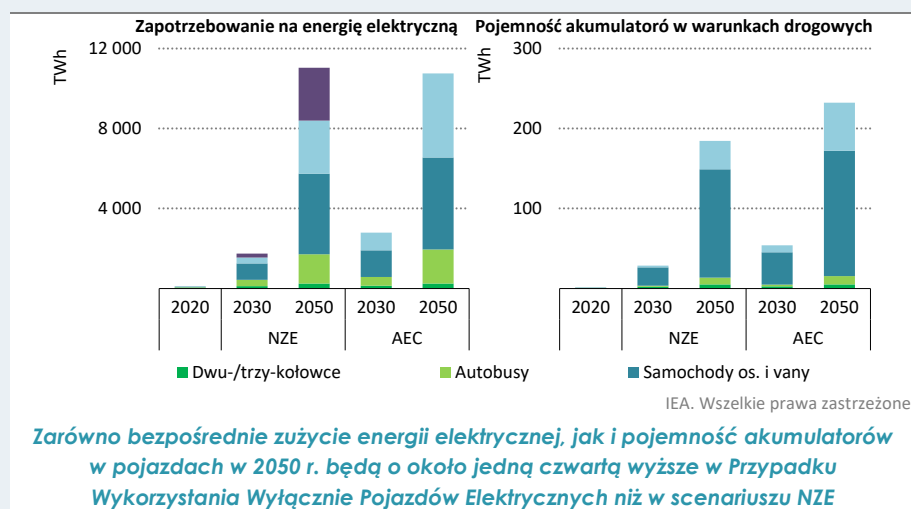
Casus Korzystania Wyłącznie z Pojazdów Elektrycznych zależy od jeszcze większego niż w scenariuszu NZE postępu w technologii akumulatorów, który doprowadzi do osiągnięcia gęstości energii wynoszącej co najmniej 400 watogodzin na kilogram (Wh/kg) do roku 2030 przy kosztach, które sprawią, że ciężarówki BEV będą mieć przewagę nad ciężarówkami FCEV w przewozach na dużych odległościach. Oznaczałoby to, że w 2030 r. na drogach będzie o 30% więcej pojazdów BEV (dodatkowe 350 mln) niż przewidziano w scenariuszu NZE. Do obsługi tych pojazdów potrzebnych byłoby ponad sześćdziesiąt pięć milionów publicznych ładowarek, co wymagałoby skumulowanych inwestycji w wysokości około 300 mld USD, czyli o 35% wyższych niż w scenariuszu NZE. Wymagałoby to szybszego rozwoju produkcji akumulatorów. Roczne światowe przyrosty pojemności akumulatorów dla pojazdów BEV w 2030 r. wyniosłyby prawie 9 TWh, co wymagałoby o 80 giga-fabryk (przy założeniu rocznej produkcji wynoszącej 35 GWh) więcej niż w scenariuszu NZE, czyli średnio ponad dwóch miesięcznie od chwili obecnej do 2030 r.

Zwiększone wykorzystanie energii elektrycznej w transporcie drogowym stworzyłoby również dodatkowe wyzwania dla sektora elektroenergetycznego. Całkowite zapotrzebowanie na energię elektryczną w transporcie drogowym (11 000 TWh lub 15%

całkowitego zużycia energii elektrycznej w 2050 r.) będzie mniej więcej takie samo w obu przypadkach, jeśli uwzględni się zapotrzebowanie na wodór elektrolityczny. Wodór elektrolityczny w scenariuszu NZE może być jednak produkowany w sposób elastyczny, w regionach i w czasie, gdy występuje nadwyżka mocy ze źródeł odnawialnych, a także z wydzielonej (pozasieciowej) energii odnawialnej. Szczytowe zapotrzebowanie na energię elektryczną w Casusie Wykorzystania Wyłącznie Pojazdów Elektrycznych, przy uwzględnieniu elastyczności umożliwiającej inteligentne ładowanie samochodów, będzie o około jedną trzecią (2 000 GW) wyższe niż w scenariuszu NZE, głównie ze względu na dodatkowe wieczorne/nocne ładowanie autobusów i samochodów ciężarowych. Jeśli nie zostaną one połączone z urządzeniami do magazynowania energii, ultraszybkie ładowarki do pojazdów ciężarowych mogą powodować dodatkowe skoki zapotrzebowania, jeszcze bardziej obciążając sieci energetyczne.

Pełna elektryfikacja transportu drogowego jest wprawdzie możliwa, ale może wiązać się z dodatkowymi wyzwaniami i niepożądanymi skutkami ubocznymi. Może ona na przykład zwiększyć presję na sieci elektroenergetyczne, wymagając znacznych dodatkowych inwestycji i zwiększając wrażliwość systemu transportowego na zakłócenia w dostawach energii. Dywersyfikacja paliw mogłaby przynieść korzyści w zakresie odporności i bezpieczeństwa energetycznego.

Rysunek 3.26 ► Globalne zapotrzebowanie na energię elektryczną i pojemność akumulatorów w transporcie drogowym w scenariuszu NZE i w Casusie Wykorzystania Wyłącznie Pojazdów Elektrycznych



Wyjaśnienie: AEC = Casus Korzystania Wyłącznie z Pojazdów Elektrycznych.

3.7 Budynki

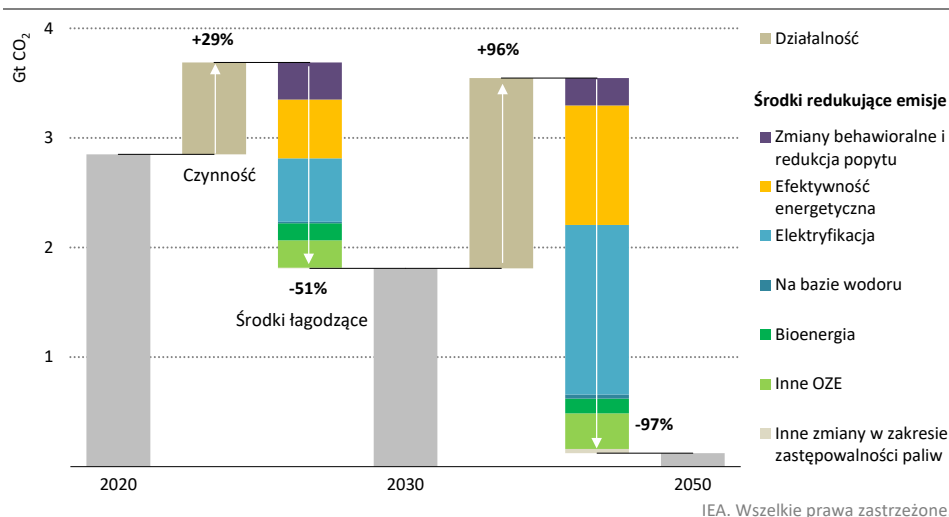
3.7.1 *Trendy w zakresie energii i emisji w scenariuszu zerowych emisji netto*

Przewiduje się, że w latach 2020-2050 powierzchnia użytkowa w sektorze budynków na całym świecie wzrośnie o 75%, z czego 80% przypadając będzie na rynki wschodzące i gospodarki rozwijające się. W skali globalnej do 2050 r. co tydzień przybywać będzie powierzchnia równa powierzchni Paryża. Ponadto budynki w wielu gospodarkach rozwiniętych mają długi okres użytkowania, a około połowa istniejących budynków będzie nadal stać w 2050 r. Popyt na urządzenia i sprzęt chłodniczy nadal będzie rosł, zwłaszcza na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się, gdzie zgodnie ze scenariuszem ZEN do 2030 r. przybędzie 650 milionów klimatyzatorów, a do 2050 r. kolejne 2 miliardy. Pomimo tego wzrostu zapotrzebowania, całkowite emisje CO₂ z sektora budynków spadną w scenariuszu NZE o ponad 95% z prawie 3 Gt w 2020 r. do około 120 Mt w 2050 r.¹²

Efektywność energetyczna i elektryfikacja to dwa najważniejsze czynniki prowadzące do dekarbonizacji sektora budynków w scenariuszu NZE (Rysunek 3.27). Transformacja ta opierać się będzie przede wszystkim na technologiach już dostępnych na rynku, w tym na ulepszonych przegrodach zewnętrznych dla nowych i istniejących budynków, pompach ciepła, energooszczędnych urządzeniach oraz projektowaniu budynków zgodnym z zasadami architektury bioklimatycznej oraz umożliwiającym efektywne wykorzystanie materiałów. Cyfryzacja i inteligentne systemy sterowania umożliwią zwiększenie efektywności, co pozwoli na zmniejszenie emisji z sektora budynków o 350 Mt CO₂ do 2050 r. W scenariuszu NZE istotne są również zmiany zachowań, przy czym redukcja o prawie 250 Mt CO₂ w 2030 r. wynikać będzie ze zmian w ustawieniach temperatury ogrzewania pomieszczeń lub zmniejszenia nadmiernej temperatury ciepłej wody. Dodatkowe zmiany zachowań, takie jak częstsze pranie ubrań w niskich temperaturach i ich naturalne suszenie, ułatwią dekarbonizację dostaw energii elektrycznej. Redukcje te można osiągnąć szybko i bezkosztowo.

¹² Wszystkie emisje CO₂ opisane w tym punkcie to bezpośrednie emisje CO₂, chyba że stwierdzono inaczej. W scenariuszu NZE dąży się również do redukcji emisji związanych z materiałami budowlanymi stosowanymi w budynkach. Emisje powstałe w wyniku wytwarzania produktu zostaną zmniejszone o 40% na metr kwadratowy nowej powierzchni użytkowej do 2030 r., a strategię efektywnego wykorzystania materiałów pozwolą na zmniejszenie zużycia cementu i stali o 50% do 2050 r. w stosunku do stanu obecnego, dzięki działaniom podejmowanym na etapie projektowania, budowy, użytkowania i wycofywania z eksploatacji.

Rysunek 3.27 ▶ Globalna redukcja bezpośrednich emisji CO₂ według środków łagodzących w budynkach w scenariuszu NZE

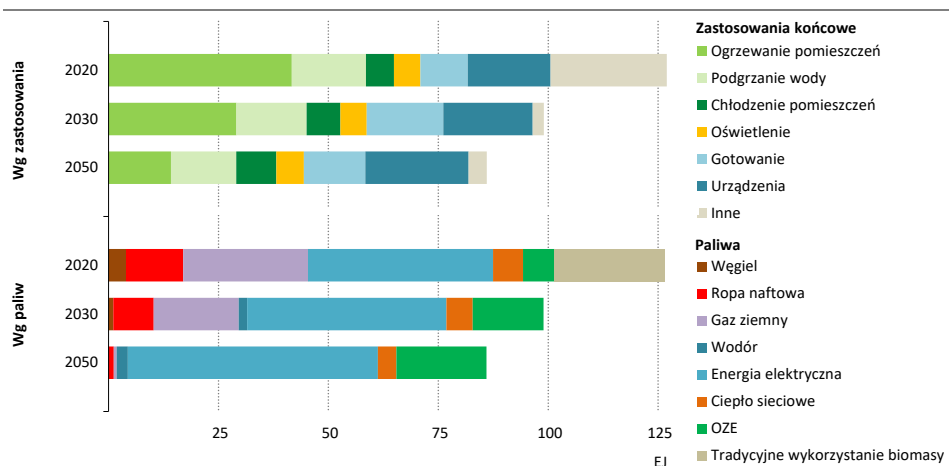


Elektryfikacja i efektywność energetyczna będą odpowiadać za prawie 70% redukcji emisji związanych z budynkami do 2050 r., a kolejnymi ważnymi czynnikami będą termiczna energia słoneczna, bioenergia i zachowania

Wyjaśnienie: Działalność = zmiany w zapotrzebowaniu na usługi energetyczne związane z rosnącą liczbą ludności, zwiększoną powierzchnią użytkową i dochodem na mieszkańca. Zachowanie = zmiana w zapotrzebowaniu na usługi energetyczne wynikająca z decyzji użytkownika, np. zmiana temperatury ogrzewania. Zmniejszenie zapotrzebowania = zmiana w zapotrzebowaniu na usługi energetyczne wynikająca z rozwoju technologii, np. cyfryzacji.

Szybkie przejście na technologie zeroemisyjne sprawi, że udział paliw kopalnych w zapotrzebowaniu na energię w sektorze budynków spadnie w scenariuszu NZE do 30% do 2030 r. oraz do 2% do 2050 r. Udział energii elektrycznej w miksie energetycznym wzrośnie do prawie 50% do 2030 roku i 66% do 2050 roku, z poziomu 33% w 2020 roku (Rysunek 3.28.). Wszystkie zastosowania końcowe zdominowane obecnie przez paliwa kopalne będą w scenariuszu NZE w coraz większym stopniu zelektryfikowane, przy czym udział energii elektrycznej w ogrzewaniu pomieszczeń, ogrzewaniu wody i gotowaniu wzrośnie z obecnego poziomu poniżej 20% do ponad 40% w 2050 r. Komunalne sieci energetyczne i gazy niskoemisyjne, w tym paliwa wodorowe, pozostaną istotne w 2050 r. w regionach o dużym zapotrzebowaniu na ciepło, gęstej zabudowie miejskiej i istniejących sieciach gazowych lub ciepłowniczych. Bioenergia zaspokajać będzie prawie jedną czwartą całkowitego zapotrzebowania na ciepło w scenariuszu NZE do 2050 r., ponad 50% bioenergii będzie wykorzystywane do gotowania, prawie w całości na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się, gdzie zgodnie ze scenariuszem ZEN do 2030 r. 2,7 mld ludzi uzyska dostęp do czystego gotowania. Zapotrzebowanie na ogrzewanie pomieszczeń spadnie w latach 2020-2050 o dwie trzecie, dzięki poprawie efektywności energetycznej i zmianom zachowań, takim jak zmiana nastaw temperatur.

Rysunek 3.28 ► Globalne końcowe zużycie energii według paliw i końcowego zastosowania w budynkach w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Do 2050 r. zużycie paliw kopalnych w sektorze budynków zmniejszy się o 96%, a zapotrzebowanie na energię do ogrzewania pomieszczeń o dwie trzecie, głównie dzięki zwiększeniu efektywności energetycznej

Wyjaśnienie: Inne obejmują odsalanie i tradycyjne wykorzystanie biomasy stałej, która nie jest przypisana do konkretnego zastosowania końcowego.

Budynki przystosowane do zerowej emisji

Określona w scenariuszu NZE ścieżka dla sektora budynków wymagać będzie stopniowej poprawy efektywności energetycznej i elastyczności zasobów oraz całkowitego odejścia od paliw kopalnych. Aby to osiągnąć, do 2050 r. ponad 85 % budynków musi być spełniać wymagania przepisów dotyczących budynków przystosowanych do zerowej emisji dwutlenku węgla (Ramka 3.4). Oznacza to, że do 2030 r. należy we wszystkich regionach wprowadzić obowiązkowe przepisy dotyczące energii wymagające, aby wszystkie nowe budynki były przystosowane do zerowej emisji dwutlenku węgla, a do 2050 r. należy przeprowadzić modernizację większości istniejących budynków, aby umożliwić im spełnienie wymogów określonych w takich przepisach.

Wskaźnik modernizacji wzrośnie do 2030 r. w gospodarkach rozwiniętych z obecnego poziomu poniżej 1% rocznie do około 2,5% rocznie: oznacza to, że każdego roku modernizowanych będzie około 10 milionów mieszkańców. Na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się okresy eksploatacji budynków są zazwyczaj krótsze niż w gospodarkach rozwiniętych, co oznacza, że wskaźniki modernizacji do 2030 r. w scenariuszu NZE będą niższe i wyniosą około 2% rocznie. Wymagać to będzie modernizacji średnio 20 milionów mieszkańców rocznie do 2030 r. Aby osiągnąć oszczędności przy najniższych kosztach i zminimalizować zakłócenia, prowadzone modernizacje muszą być kompleksowe i jednorazowe.

Ramka 3.4 ► Droga ku budynkom przystosowanym do zerowej emisji

Osiągnięcie dekarbonizacji zużycia energii w tym sektorze wymaga, aby do 2050 r. prawie wszystkie istniejące budynki zostały poddane jednorazowej gruntownej modernizacji, a nowe budownictwo spełniało rygorystyczne normy efektywności. Przepisy budowlane dotyczące energii obejmujące nowe i istniejące budynki są podstawowym instrumentem polityk służących do stymulowania takich zmian. Przepisy budowlane dotyczące energii istnieją obecnie lub są w trakcie opracowywania jedynie w 75 krajach, a w około 40 z nich są one obowiązkowe dla podsektora zarówno budownictwa mieszkaniowego, jak i usługowego. W scenariuszu NZE kompleksowe przepisy dotyczące budynków przystosowanych do zerowej emisji zostaną wdrożone we wszystkich krajach najpóźniej do 2030 r.

Co to jest budynek przystosowany do zerowej emisji?

Budynek przystosowany do zerowej emisji jest wysoce energooszczędny i albo bezpośrednio wykorzystuje energię odnawialną, albo korzysta z dostaw energii, które do 2050 r. zostaną całkowicie zdekarbonizowane, takich jak dostawy energii elektrycznej lub ciepła z sieci miejskich. Oznacza to, że budynek przystosowany do zerowej emisji dwutlenku węgla stanie się budynkiem zeroemisyjnym do roku 2050, bez dalszych zmian w budynku lub jego wyposażeniu.

Budynki przystosowane do zerowej emisji powinny dostosowywać się do potrzeb użytkowników oraz maksymalizować efektywne i inteligentne wykorzystanie energii, materiałów i przestrzeni, aby ułatwić dekarbonizację innych sektorów. Kluczowe kwestie z tym związane obejmują:

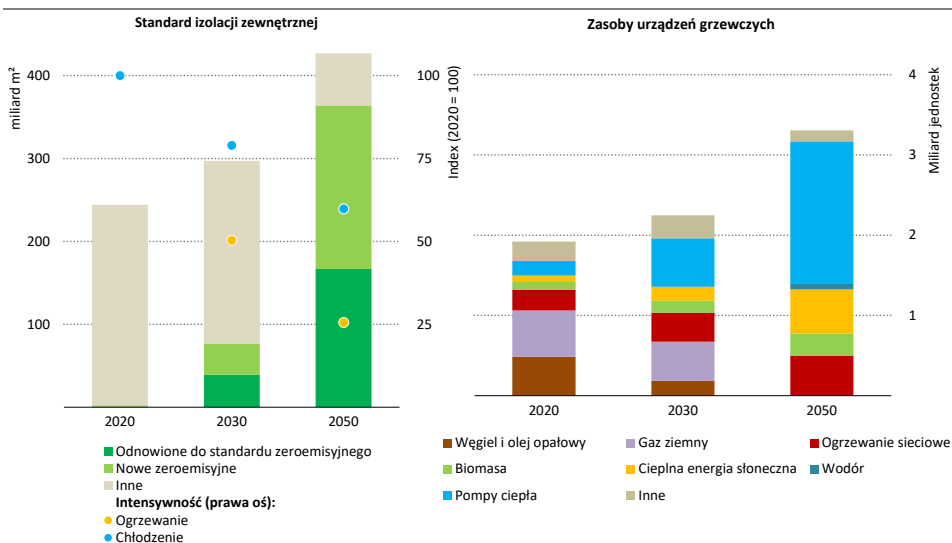
- **Zakres.** Przepisy budowlane dotyczące energii dla budynków przystosowanych do zerowej emisji powinny obejmować eksploatację budynków (zakres 1 i 2), a także emisje z produkcji materiałów budowlanych i komponentów budynków (zakres 3 lub emisje dwutlenku węgla związane z produkcją wyrobów).
- **Zużycie energii.** Przepisy budowlane dotyczące energii dla budynków przystosowanych do zerowej emisji powinny uznawać istotną rolę, jaką w obniżaniu zapotrzebowania na energię odgrywają pasywne cechy konstrukcyjne, ulepszenia przegród zewnętrznych budynków oraz urządzenia o wysokiej charakterystyce energetycznej, które zmniejszają zarówno koszty eksploatacji budynków, jak i koszty dekarbonizacji dostaw energii.
- **Zaopatrzenie w energię.** W miarę możliwości nowe i istniejące budynki gotowe do zerowej emisji powinny wykorzystywać lokalnie dostępne zasoby odnawialne, np. termiczną energię słoneczną, energię elektryczną z fotowoltaiki, energię ciepłą z fotowoltaiki oraz energię geotermalną, aby zmniejszyć zapotrzebowanie na dostawy energii na skalę przemysłową. Magazynowanie energii cieplnej lub elektrycznej w akumulatorach może być potrzebne do wspierania lokalnego wytwarzania energii.

- **Integracja z systemami elektroenergetycznymi.** Przepisy budowlane dotyczące energii dla budynków gotowych do zerowej emisji powinny wymagać, aby budynki stały się elastycznym zasobem dla systemu energetycznego, wykorzystującym łączność i automatykę do zarządzania zapotrzebowaniem na energię elektryczną w budynkach oraz działaniem urządzeń magazynujących energię, w tym pojazdów elektrycznych.
- **Łańcuch wartości budynków i budownictwa.** Przepisy budowlane dotyczące energii dla budynków gotowych do zerowej emisji powinny również dążyć do zerowych emisji netto z wykorzystania materiałów w budynkach. Strategie efektywnego wykorzystania materiałów mogą zmniejszyć zapotrzebowanie na cement i stal w sektorze budynków o ponad jedną trzecią w stosunku do trendów wyjściowych, a emisje związane z wytwarzaniem produktów można jeszcze bardziej ograniczyć dzięki bardziej zdecydowanemu stosowaniu bioproduktów i innowacyjnych materiałów budowlanych.

Ogrzewanie i chłodzenie

Ulepszenia przegród zewnętrznych w budynkach modernizowanych i nowych, które są gotowe do zerowej emisji, odpowiadać będą za większą część redukcji energochłonności ogrzewania i chłodzenia w scenariuszu NZE, ale technologia ogrzewania i chłodzenia również będzie mieć w tym znaczący udział. W scenariuszu NZE zmianie ulegnie sposób ogrzewania pomieszczeń, przy czym udział domów ogrzewanych gazem ziemnym spadnie z niemal 30% obecnie do mniej niż 0,5% w 2050 r., natomiast udział domów ogrzewanych energią elektryczną wzrośnie z niemal 20% obecnie do 35% w 2030 r. i do około 55% w 2050 r. (Rysunek 3.29). Wysokowydajne elektryczne pompy ciepła staną się podstawową technologią ogrzewania pomieszczeń w scenariuszu NZE, przy czym miesięczna liczba instalacji pomp ciepła na świecie wzrośnie z 1,5 mln obecnie do około 5 mln w 2030 r. i 10 mln w 2050 r. W niektórych najzimniejszych strefach klimatycznych stosowane będą również hybrydowe pompy ciepła, ale będą one zaspokajać nie więcej niż 5% zapotrzebowania na ciepło w 2050 roku.

Rysunek 3.29 ▶ Globalne zasoby budynków i urządzeń grzewczych według typów oraz zmiany intensywności zapotrzebowania na ciepło użytkowe do ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Do 2050 r. ponad 85% budynków będzie przystosowanych do zerowej emisji, zmniejszając średnią użyteczną intensywność ogrzewania o 75%, a pompy ciepła będą zaspokajać ponad połowę potrzeb grzewczych

Wyjaśnienie: BPZE oznacza budynki spełniające normy energetyczne określone w przepisach budowlanych dla budynków gotowych do zerowej emisji dwutlenku węgla. Inne w odniesieniu do przegród zewnętrznych budynków oznacza przegrody, które nie spełniają norm energetycznych określonych w przepisach budowlanych dla budynków gotowych do zerowej emisji dwutlenku węgla. Inne w odniesieniu do urządzeń grzewczych oznacza grzejniki oporowe oraz hybrydowe i gazowe pompy ciepła.

Jednak nie we wszystkich budynkach pompa ciepła jest najlepszym sposobem na dekarbonizację, a kotły wykorzystujące bioenergię, termiczną energię słoneczną, ciepło sieciowe, gazy niskoemisyjne w sieciach gazowych i wodorowe ogniwa paliwowe odgrywają ważną rolę w zapewnieniu gotowości światowych zasobów budowlanych do osiągnięcia zerowej emisji dwutlenku węgla do 2050 r. Bioenergia zaspokoi 10% zapotrzebowania na ogrzewanie pomieszczeń do 2030 r. i ponad 20% do 2050 r. Energia słoneczna jest preferowaną technologią odnawialną do ogrzewania wody, zwłaszcza tam, gdzie zapotrzebowanie na ciepło jest niskie; w scenariuszu NZE do 2050 r. będzie ona zaspokajać 35% zapotrzebowania, w porównaniu z 7% obecnie. Sieci ciepłownicze pozostaną atrakcyjną opcją dla wielu zwartych ośrodków miejskich, gdzie instalacja pomp ciepła jest nieracjonalna, w scenariuszu NZE w 2050 r. zapewnią one ponad 20% zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania pomieszczeń, w porównaniu z nieco ponad 10% obecnie.

Od 2025 r. w scenariuszu NZE nie będą sprzedawane na świecie nowe kotły węglowe i olejowe. Sprzedaż kotłów gazowych spadnie o ponad 40% w stosunku do obecnego poziomu do 2030 r. i o 90% do 2050 r. Do 2025 r. w scenariuszu NZE wszystkie sprzedawane kotły gazowe będą zdolne do spalania 100% wodoru, a więc będą gotowe do zerowej emisji dwutlenku węgla. Udział gazów niskoemisyjnych (wodoru, biometanu, metanu syntetycznego) w gazie dostarczonym do budynków wzrośnie z niemal zera do 10% do 2030 r. do ponad 75% do 2050 r.

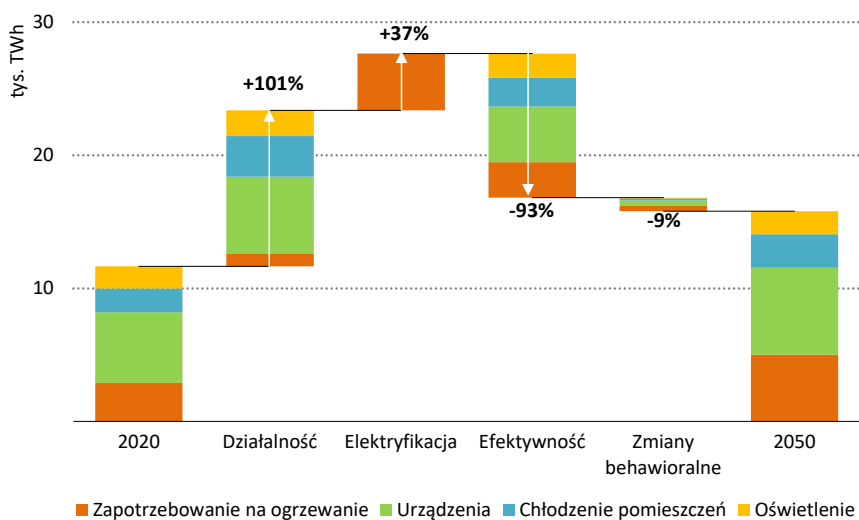
Budynki, które spełniają normy energetyczne przepisów budowlanych dotyczących budynków gotowych do zerowej emisji dwutlenku węgla, zmniejszają zapotrzebowanie nie tylko na ogrzewanie, ale także na chłodzenie pomieszczeń, które jest najszybciej rosnącym zastosowaniem końcowym energii w budynkach od 2000 r. W 2020 r. chłodzenie pomieszczeń odpowiadało jedynie za 5% całkowitego zużycia energii w budynkach na całym świecie, ale zapotrzebowanie na chłodzenie prawdopodobnie znacznie wzrośnie w nadchodzących dziesięcioleciach w związku z rosnącymi dochodami i coraz cieplejszym klimatem. W scenariuszu NZE, w 2050 r. 60% gospodarstw domowych będzie mieć klimatyzator, w porównaniu z 35% w 2020 r. Wysoce efektywne energetycznie przegrody zewnętrzne budynków, w tym konstrukcje zgodne z zasadami architektury bioklimatycznej oraz odpowiednia izolacja, mogą zmniejszyć zapotrzebowanie na chłodzenie pomieszczeń o 30-50%, zapewniając jednocześnie większą odporność podczas ekstremalnych upałów. W scenariuszu NZE zapotrzebowanie na energię elektryczną do chłodzenia pomieszczeń będzie wzrastać o 1% rocznie i w 2050 r. osiągnie poziom 2 500 TWh. Bez 2 000 TWh oszczędności wynikających z ulepszenia przegród zewnętrznych budynków mieszkalnych i bardziej wydajnych urządzeń, zapotrzebowanie na chłodzenie pomieszczeń byłoby prawie dwukrotnie wyższe.

Sprzęt AGD i oświetlenie

Urządzenia elektryczne i oświetlenie staną się znacznie bardziej wydajne w ciągu następnych trzech dekad w scenariuszu NZE dzięki działaniom przewidzianym w politykach i postępowi technicznemu. Do 2025 r. w scenariuszu NZE ponad 80% wszystkich urządzeń AGD i klimatyzatorów sprzedawanych w gospodarkach rozwiniętych będzie wykorzystywać najlepsze dostępne obecnie na tych rynkach technologie, a w połowie lat 2030. udział ten wzrośnie do 100%. Na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających, w których do 2050 r. będzie użytkowana ponad połowa urządzeń AGD i klimatyzatorów, scenariusz NZE zakłada w ciągu najbliższej dekady falę działań politycznych, która doprowadzi do tego, że 80% urządzeń sprzedawanych na tych rynkach w 2030 r. będzie tak samo efektywne jak najlepsze dostępne obecnie technologie w gospodarkach rozwiniętych, a do 2050 r. ich udział wzrośnie do blisko 100% (Rysunek 3.30). Udział żarówek diodowych (LED) w całkowitej sprzedaży żarówek osiągnie 100% do 2025 roku we wszystkich regionach. Minimalne normy charakterystyki energetycznej zostaną uzupełnione o wymogi dotyczące inteligentnego sterowania urządzeniami AGD w celu ułatwienia reakcji po stronie popytu we wszystkich regionach.

Zużycie energii w budynkach będzie w coraz większym stopniu koncentrować się na sprzęcie i urządzeniach elektrycznych, elektronicznych i podłączonych. Udział energii elektrycznej w zużyciu energii w budynkach wzrośnie w scenariuszu NZE z 33% w 2020 r. do około dwóch trzecich w 2050 r., przy czym w wielu budynkach będzie stosowane zdecentralizowane wytwarzanie energii elektrycznej z wykorzystaniem lokalnych paneli fotowoltaicznych, akumulatorowych magazynów energii i ładowarek pojazdów elektrycznych. W tym samym okresie liczba budynków mieszkalnych wyposażonych w panele fotowoltaiczne wzrośnie z 25 milionów do 240 milionów. W scenariuszu NZE inteligentne systemy sterowania będą przesuwać elastyczne wykorzystanie energii elektrycznej w czasie tak, aby odpowiadało ono wytwarzaniu energii z lokalnych źródeł odnawialnych lub aby zapewnić usługi elastyczności systemowi elektroenergetycznemu, natomiast zoptymalizowane ładowanie akumulatorów domowych i ładowanie pojazdów elektrycznych pozwoli gospodarstwom domowym na interakcję z siecią. Zmiany te przyczynią się do poprawy bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej i obniżenia kosztów transformacji energetycznej poprzez łatwiejsze i tańsze włączanie odnawialnych źródeł energii do systemu.

Rysunek 3.30 ▶ Globalna zmiana zapotrzebowania na energię elektryczną według końcowego zużycia w sektorze budynków



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Efektywność energetyczna będzie mieć kluczowe znaczenie dla ograniczenia wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną do zasilania urządzeń AGD i klimatyzacji, a oszczędności z nawiązką skompensują wpływ elektryfikacji ogrzewania

3.7.2 Kluczowe etapy i punkty decyzyjne

Tabela 3.4 ► Kluczowe etapy transformacji światowego sektora budynków

Kategoria			
Nowe budynki	• Od 2030 r.: wszystkie nowe budynki przystosowane do zerowej emisji dwutlenku węgla.		
Budynki istniejące	• Od 2030 r.: każdego roku 2,5% budynków zostanie zmodernizowanych do standardu budynku przystosowanego do zerowej emisji dwutlenku węgla.		
Kategoria	2020	2030	2050
Budynki			
Udział istniejących budynków zmodernizowanych do standardu budynku przystosowanego do zerowej emisji	<1%	20%	>85%
Udział nowo budowanych budynków przystosowanych do zerowej emisji	5%	100%	100%
Ogrzewanie i chłodzenie			
Zasoby pomp ciepła (w mln sztuk)	180	600	1 800
Milion mieszkań wykorzystujących termiczną energię słoneczną	250	400	1 200
Uniknięte zapotrzebowanie na energię w budynkach mieszkalnych wynikające ze zmian zachowań	n.d.	12%	14%
Sprzęt AGD i oświetlenie			
Urządzenia: jednostkowe zużycie energii (wskaźnik 2020=100)	100	75	60
Oświetlenie: udział żarówek LED w sprzedaży	50%	100%	100%
Dostęp do energii			
Ludność z dostępem do energii elektrycznej (mld osób)	7,0	8,5	9,7
Ludność z dostępem do czystego gotowania (mld osób)	5,1	8,5	9,7
Infrastruktura energetyczna w budynkach			
Rozproszona produkcja energii fotowoltaicznej (TWh)	320	2 200	7 500
Prywatne ładowarki pojazdów elektrycznych (mln sztuk)	270	1 400	3 500

W najbliższym czasie rządy będą musiały podjąć decyzje dotyczące przepisów i norm energetycznych dla budynków, odchodzenia od paliw kopalnych, wykorzystania gazów niskoemisyjnych, przyspieszenia modernizacji i zachęt finansowych w celu zachęcenia do inwestycji w przekształcenia energetyczne w sektorze budynków. Decyzje te będą najbardziej skuteczne, jeśli skupią się na obniżeniu emisyjności całego łańcucha wartości, uwzględniając nie tylko budynki, ale również sieci energetyczne i infrastrukturalne, które je zasilają, jak również szersze kwestie, w tym rolę sektora budownictwa i planowania miejskiego. Tak podejmowane decyzje mogą przynieść szersze korzyści, zwłaszcza w zakresie zmniejszenia ubóstwa energetycznego.

Rządy muszą natychmiast podjąć działania w celu zapewnienia, że budynki przystosowane do zerowej emisji dwutlenku węgla staną się nową normą na całym świecie przed 2030 r., w przypadku budynków zarówno nowych, jak i modernizowanych. Wymaga to od rządów podjęcia działań przed 2025 r., aby zapewnić wdrożenie norm energetycznych określonych w przepisach budowlanych dla budynków przystosowanych do zerowej emisji dwutlenku węgla najpóźniej do 2030 r. Chociaż cel ten dotyczy wszystkich regionów, sposoby przekształcenia wszystkich budynków w przystosowane do zerowej emisji różnią się znacznie w zależności od regionu i strefy klimatycznej; to samo dotyczy strategii w zakresie technologii ogrzewania i chłodzenia. Rządy powinny rozważyć utworzenie drogi poprzez przystosowanie budynków publicznych do zerowej emisji dwutlenku węgla w ciągu najbliższej dekady.

Rządy będą musiały znaleźć sposoby na to, aby nowe budynki i budynki modernizacji przystosowane do zerowej emisji stały się przystępne cenowo i atrakcyjne dla właścicieli i użytkowników poprzez eliminację barier finansowych, zajęcie się problemem barier wynikających z podziału zachęt oraz zminimalizowanie zakłóceń w użytkowaniu budynku. Pewną rolę w tym zakresie mogą odegrać świadectwa charakterystyki energetycznej budynków, ekologiczne umowy najmu, finansowanie obligacji ekologicznych oraz modele „płać w miarę oszczędzania”.

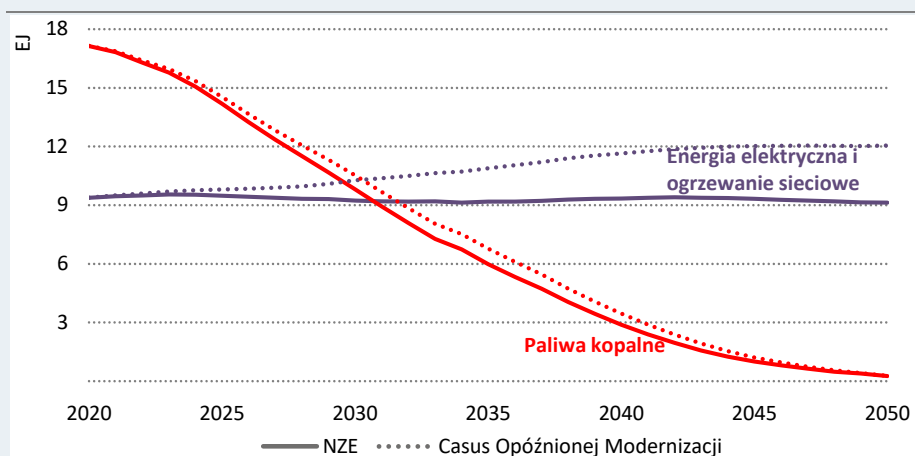
Uczynienie modernizacji budynków do standardu budynków gotowych do zerowej emisji głównym filarem strategii ożywienia gospodarczego na początku 2020 r. jest niekwestionowanym działaniem mającym na celu przyspieszenie postępu w kierunku sektora budynków o zerowej emisji. Rezygnacja z możliwości zwiększenia efektywności wykorzystania energii w budynkach spowodowałaby wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną związanego z elektryfikacją zastosowań energii w sektorze budynków oraz znacznie utrudniłaby dekarbonizację systemu energetycznego i zwiększyłaby jej koszty (Ramka 3.5).

Ramka 3.5 ► Jaki byłby wpływ braku wzrostu globalnych wskaźników modernizacji do 2,5%?

Dekarbonizacja ogrzewania w istniejących budynkach w scenariuszu NZE opiera się na głębokiej modernizacji większości istniejących obiektów budowlanych. Doprowadzenie do tego, aby do 2050 r. prawie wszystkie budynki spełniały wymogi norm energetycznych określonych w przepisach budowlanych dla budynków przystosowanych do zerowej emisji dwutlenku węgla, wymagałoby wskaźników modernizacji na poziomie 2,5% rocznie do 2030 r., w porównaniu z obecnym poziomem poniżej 1%. Modernizacja może być uciążliwa dla mieszkańców, wymaga wysokich nakładów inwestycyjnych i może napotykać trudności związane z uzyskaniem pozwoleń. Z tego względu osiągnięcie wymaganego tempa i zakresu modernizacji w nadchodzących latach jest największym wyzwaniem stojącym przed sektorem budynków.

Jakiegolwiek opóźnienie w osiągnięciu wskaźnika rocznego modernizacji w wysokości 2,5% do 2030 r. wymagałoby tak gwałtownego wzrostu tego wskaźnika, że modernizacja zdecydowanej większości budynków do 2050 r. stałaby się praktycznie niemożliwa. Modelowanie wskazuje, że dziesięcioletnie opóźnienie przyspieszenia tempa modernizacji spowodowałoby wzrost zapotrzebowania na energię do ogrzewania pomieszczeń mieszkalnych o 25%, a zapotrzebowania na energię do chłodzenia pomieszczeń o ponad 20%, co przełożyłoby się na 20% wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną w 2050 r. w stosunku do scenariusza ZEN (Rysunek 3.31). Spowodowałoby to większe obciążenie sektora energii, który musiałby zainstalować więcej mocy wytwórczych opartych na technologiach niskoemisyjnych. W *Casusie Opóźnionej Modernizacji*, polityki i przejście na inne paliwa nadal powodowałyby spadek popytu na paliwa kopalne, ale do 2050 r. spalono by dodatkowo paliwa kopalne zawierające 15 EJ energii, emitując 1 Gt CO₂.

Rysunek 3.31 ► Globalne zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń mieszkalnych w scenariuszu NZE i w *Casusie Opóźnionej Modernizacji*



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Opóźnienia w zwiększeniu tempa i głębokości modernizacji byłyby prawie niemożliwe do nadrobienia, co dodatkowo obciążałoby sektor elektroenergetyczny i zwiększyło zapotrzebowanie na paliwa kopalne

Rządy muszą ustanowić polityki w zakresie kotłów oraz pieców węglowych i olejowych do ogrzewania pomieszczeń i wody, które w scenariuszu NZE nie będą już dostępne w sprzedaży po roku 2025. Konieczne będą również działania rządów mające na celu zapewnienie tego, aby nowe kotły gazowe były w stanie spalać gazy niskoemisyjne (być gotowe do wykorzystania wodoru) w zdekarbonizowanych sieciach gazowych. Zwiększa to znaczenie dostępności przekonujących alternatyw dla wycofywanych typów kotłów, w tym

wykorzystania pomp ciepła, wydajnych pieców na drewno (wykorzystujących zrównoważone dostawy drewna), energii miejskiej, fotowoltaiki, termicznej energii słonecznej i innych technologii energii odnawialnej. To, które alternatywy są najlepsze, będzie w pewnym stopniu zależeć od warunków lokalnych, ale w większości przypadków elektryfikacja będzie najbardziej efektywną energetycznie i opłacalną opcją niskoemisyjną, a dekarbonizacja i rozbudowa lokalnych sieci energetycznych będzie prawdopodobnie mieć sens tam, gdzie pozwala na to gęstość zaludnienia. Wykorzystanie biometanu lub wodoru w istniejących lub zmodernizowanych sieciach gazowych może być najlepszym rozwiązaniem w obszarach, w których bardziej efektywne rozwiązania alternatywne nie są możliwe.

Rządy muszą również podjąć decyzje dotyczące minimalnych standardów charakterystyki energetycznej (MSCE). Zgodnie z założeniami scenariusza ZEN, wszystkie kraje najpóźniej do 2025 r. wprowadzą MSCE dla wszystkich najważniejszych kategorii urządzeń, ustalone na najbardziej rygorystycznych poziomach obowiązujących w gospodarkach rozwiniętych. Oznaczałoby to m.in. zakończenie do tego czasu sprzedaży standardowych żarówek, halogenów i świetlówek kompaktowych. Ustalenie MSCE na odpowiednim poziomie będzie wymagać starannego planowania; pomocną rolę w utrzymaniu kosztów na niskim poziomie mogłaby odegrać współpraca międzynarodowa w celu ujednolicenia standardów i celów.

Systemowy charakter scenariusza NZE oznacza, że strategie i polityki dotyczące budynków będą funkcjonować najlepiej, jeśli zostaną dostosowane do strategii i polityk przyjmowanych w odniesieniu do systemów energetycznych, planowania urbanistycznego i mobilności. Pomogłoby to w zapewnieniu udanego rozpowszechnienia zintegrowanych z budynkami technologii fotowoltaicznych, magazynowania energii w akumulatorach i inteligentnych systemów sterowania, tak aby budynki stały się aktywnymi dostawcami usług dla sieci. Przyczyniłoby się to również do wspierania wdrażania inteligentnej infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych. Polityka zachęcająca do gęstej zabudowy miejskiej o mieszanym przeznaczeniu w połączeniu z łatwym dostępem do usług lokalnych i transportu publicznego mogłaby zmniejszyć zależność od prywatnych pojazdów (zob. Rozdział 2). Istnieją również powiązania między strategiami dotyczącymi budynków a środkami mającymi na celu zmniejszenie emisji dwutlenku węgla związanego z nowym budownictwem, które w scenariuszu NZE spadnie do 2050 r. o 95%.

Szersze implikacje osiągnięcia zerowych emisji netto

PODSUMOWANIE

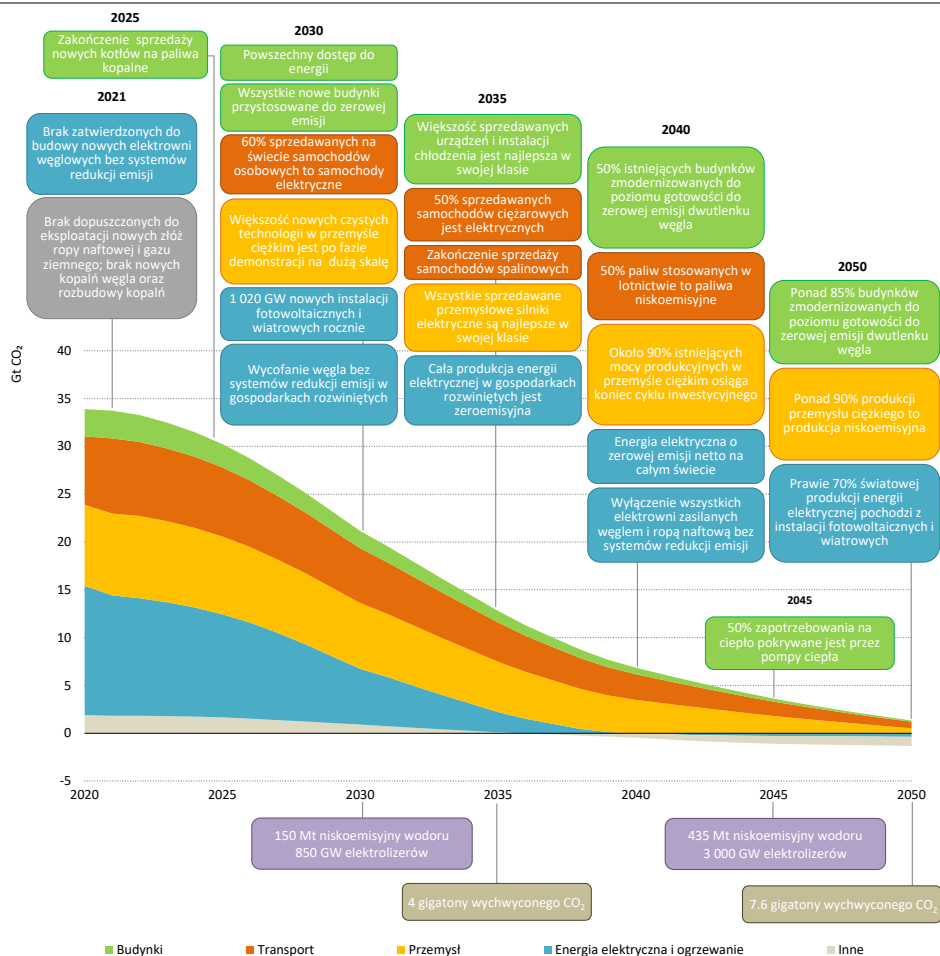
- Gospodarka:** W naszym scenariuszu osiągnięcia zerowych emisji netto do 2050 r. (NZE), do 2050 r. globalne emisje CO₂ osiągną poziom zerowy i wzrosną inwestycje w sektorach energii elektrycznej, paliw niskoemisyjnych, infrastruktury i zastosowań końcowych. Do 2030 r. zatrudnienie w sektorze czystej energii wzrośnie o 14 mln miejsc pracy, natomiast zatrudnienie w sektorze ropy naftowej, gazu ziemnego i węgla spadnie o około 5 mln miejsc pracy. Wyniki dla różnych regionów będą zróżnicowane, przy czym zwiększenie liczby miejsc pracy nie zawsze wystąpi w tym samym miejscu lub będzie odpowiadać temu samemu zestawowi umiejętności, miejsca pracy, które zostaną zlikwidowane. Wzrost liczby miejsc pracy i inwestycji będzie stymulować wzrost gospodarczy, co będzie skutkować wzrostem netto światowego PKB do 2030 r. Ale wpływy ze sprzedaży ropy i gazu ziemnego w gospodarkach krajów producentów będą w 2050 r. o 80% niższe niż w ostatnich latach, natomiast wpływy podatkowe z detalicznej sprzedaży ropy i gazu w krajach importujących będą o 90% niższe.
- Branża energetyczna:** Produkcja paliw kopalnych znacznie się skurczy, ale przedsiębiorstwa produkujące te paliwa dysponują umiejętnościami i zasobami, które mogłyby odegrać kluczową rolę w opracowywaniu nowych paliw i technologii niskoemisyjnych. Przemysł elektroenergetyczny dostosowuje się do zapotrzebowania, które wzrośnie ponad dwukrotnie do 2050 r. i stanie się bardziej kapitałochłonny, koncentrując się na odnawialnych źródłach energii, źródłach elastyczności i sieciach. Duże firmy zużywające energię, producenci pojazdów i ich dostawcy dostosują projekty swoich wyrobów i przebudują fabryki, jednocześnie poprawiając wydajność i przechodząc na alternatywne źródła paliwa.
- Osobom,** które nie mają dostępu do elektryczności i czystego gotowania, w scenariuszu NZE dostęp ten zostanie zapewniony powszechnie do 2030 r. Będzie to kosztować około 40 mld USD rocznie w ciągu następnej dekady i zwiększy emisję CO₂ o mniej niż 0,2%. Dla ludzi na całym świecie scenariusz NZE oznacza głębokie zmiany, a ich aktywne wsparcie jest niezbędne, jeśli scenariusz ten ma się powieść. Polityka rządów może mieć bezpośredni wpływ na około trzech czwartych zmian zachowań w scenariuszu NZE lub może zmiany te wymuszać. Ważną kwestią dla obywateli jest również koszt energii, a odsetek rozporządzalnego dochodu gospodarstw domowych przeznaczany na energię w okresie do 2050 r. pozostanie stabilny na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się, pomimo dużego wzrostu popytu na nowoczesne usługi energetyczne.
- Działania rządu** mają kluczowe znaczenie dla osiągnięcia zerowych emisji netto na świecie do 2050 r.; stanowią one podstawę decyzji podejmowanych przez wszystkie

inne podmioty. Warto zwrócić uwagę na cztery szczególne zagadnienia. Po pierwsze, realizacja scenariusza NZE zależy od działań, które znacznie wykraczają poza kompetencje ministrów ds. energii i wymaga skoordynowanych działań międzyresortowych. Po drugie, spadek popytu na ropę naftową i gaz ziemny w scenariuszu NZE może zmniejszyć niektóre tradycyjne zagrożenia dla bezpieczeństwa energetycznego, ale nie znikną one, a w związku z rosnącą zależnością od systemów elektroenergetycznych i kluczowych surowców mineralnych pojawią się potencjalne nowe słabe punkty. Po trzecie, konieczne jest przyspieszenie innowacji. Redukcję emisji do 2030 r. w ramach scenariusza NZE można w większości osiągnąć dzięki technologiom dostępnym obecnie na rynku, ale prawie połowa redukcji w 2050 r. zależy od technologii, które są obecnie w fazie rozwoju. Po czwarte, potrzebny jest bezprecedensowy poziom współpracy międzynarodowej. Przyczynia się ona do przyspieszenia innowacji, opracowania norm międzynarodowych i ułatwienia tworzenia nowej infrastruktury łączącej rynki krajowe. Bez współpracy założonej w scenariuszu NZE, dojście do zerowych emisji netto opóźniłoby się o całe dziesięciolecie.

4.1 Wprowadzenie

Osiągnięcie zerowych emisji netto do 2050 r. jest monumentalnym zadaniem, zwłaszcza w kontekście rosnącego wzrostu gospodarczego i wzrostu liczby ludności. Wymaga ono od wszystkich rządów, współpracujących z przemysłem i obywatelami, niezachwianego skupienia się na zapewnieniu tego, aby dochodzenie do zerowych emisji netto na świecie przebiegało w sposób skoordynowany i bez opóźnień. W tym rozdziale przyjrzymy się temu, co dla gospodarki, przemysłu energetycznego, obywateli i rządów oznaczałyby zmiany, które doprowadziłyby do zerowych emisji netto w skali globalnej do 2050 r. zgodnie ze scenariuszem NZE.

Rysunek 4.1 ► Wybrane globalne kamienie milowe w zakresie polityk, infrastruktury i wdrażania technologii w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Droga do osiągnięcia globalnego zerowego poziomu emisji netto do 2050 r. dzieli się na wiele etapów. Jeśli któryś z sektorów pozostanie w tyle, nadrobienie tego opóźnienia gdzie indziej może okazać się niemożliwe

W scenariuszu NZE, szeroko zakrojone działania i regulacje pomagają kształtować lub wpływać na zmianę wyborów w kwestii zakupów dokonywanych przez osoby fizyczne, sposobu ogrzewania i chłodzenia domów oraz środków transportu. Wiele sektorów gospodarki, zwłaszcza tych, które obecnie zajmują się produkcją energii lub są jej użytkownikami na dużą skalę, również stoi w obliczu zmian. Niektóre konieczne zmiany w przypadku osób prywatnych i sektorów gospodarki mogą być niepopularne, co podkreśla fakt, że konieczne jest zapewnienie przejrzystej, sprawiedliwej i opłacalnej transformacji energetycznej oraz przekonanie obywateli

o potrzebie reformy. Zmiany te przyniosą znaczące korzyści. Około 790 milionów ludzi nie ma dziś dostępu do elektryczności, a 2,6 miliarda ludzi nie ma dostępu do czystych metod gotowania. Scenariusz NZE pokazuje, w jaki sposób redukcja emisji może iść w parze z wysiłkami na rzecz zapewnienia powszechnego dostępu do energii elektrycznej i czystego gotowania oraz poprawy jakości powietrza. Stwarza on również istotne możliwości, ponieważ technologie czystej energii zapewnią wiele nowych możliwości biznesowych i miejsc pracy, a innowacje będą stymulować powstawanie nowych mocy produkcyjnych w przemyśle.

U podstaw wszystkich tych zmian leżą decyzje polityczne podejmowane przez rządy. Będzie to wymagać pełnego zaangażowania na wszystkich szczeblach władzy i we wszystkich krajach. Skala zmian koniecznych do osiągnięcia globalnego zerowego poziomu emisji netto do 2050 r. nie leży w gestii samych tylko ministerstw ds. energii i środowiska, ani w gestii poszczególnych krajów. Będzie się ona wiązać z bezprecedensowym poziomem globalnej współpracy, z uznaniem i wyczuleniem na różnice w etapach rozwoju poszczególnych krajów, a także z docenieniem trudności, z jakimi borykają się poszczególne społeczności oraz członkowie społeczeństwa, zwłaszcza ci, na których przejście do zerowych emisji netto może mieć negatywny wpływ. W scenariuszu NZE rządy zaczną od wyznaczenia jednoznacznych celów długookresowych, zapewniając od samego początku ich pełne wsparcie przez przyjęcie jasnych celów krótkoterminowych i podjęcie działań politycznych, które będą jasno określać ścieżkę rozwoju, a także uwzględniać unikalne warunki wyjściowe każdego kraju, aby wspierać wdrażanie nowej infrastruktury i technologii (Rysunek 4.1).

4.2 Gospodarka

4.2.1 Inwestycje i finansowanie

Przejście na zerowy poziom emisji netto do 2050 r. wymaga znacznego zwiększenia inwestycji w sektorach energii elektrycznej, infrastruktury i końcowego wykorzystania energii. Największy wzrost w ciągu następnej dekady dotyczy wytwarzania energii elektrycznej: roczne inwestycje wzrosną z około 0,5 bln USD w ciągu ostatnich pięciu lat do 1,6 bln USD w 2030 r. (Rysunek 4.2). Do 2030 r. roczne inwestycje w odnawialne źródła energii w sektorze energii elektrycznej wyniosą około 1,3 bln USD, czyli nieco więcej niż najwyższy poziom wydatków poniesionych kiedykolwiek na dostawy paliw kopalnych (1,2 bln USD w 2014 r.). Roczne inwestycje w infrastrukturę czystej energii wzrosną z około 290 mld USD w ciągu ostatnich pięciu lat do około 880 mld USD w 2030 r. Dotyczy to sieci elektroenergetycznych, publicznych stacji ładowania pojazdów elektrycznych, stacji tankowania wodoru oraz terminali importowych i eksportowych dla wodoru, bezpośredniego wychwytywania CO₂ z powietrza oraz rurociągów CO₂ i instalacji do jego składowania. Roczne inwestycje w technologie niskoemisyjne w sektorach końcowego wykorzystania energii wzrosną z 530 mld USD w ostatnich latach do 1,7 bln USD w 2030 r.¹

¹ Poziomy inwestycji przedstawione w niniejszym raporcie w większym stopniu uwzględniają poprawę efektywności w budynkach i różnią się od danych przedstawionych w raporcie IEA World Energy Investment (IEA, 2020a). Inwestycje w efektywność końcowego wykorzystania energii są kosztem przyrostowym poprawy charakterystyki energetycznej urządzeń w stosunku do konstrukcji konwencjonalnych.

Obejmuje to wydatki na głęboką modernizację budynków, przekształcanie procesów przemysłowych oraz zakup nowych niskoemisyjnych pojazdów i bardziej wydajnych urządzeń.

Po 2030 r. roczne inwestycje w produkcję energii elektrycznej spadną o jedną trzecią do 2050 r. Znaczna część infrastruktury dla sektora niskoemisyjnej energii elektrycznej powstanie w pierwszej dekadzie realizacji scenariusza ZEN, a po 2030 r. koszty energii odnawialnej nadal będą spadać. W sektorach wykorzystania końcowego obserwuje się stały wzrost inwestycji w pojazdy elektryczne, wychwytywanie, wykorzystywanie i składowanie dwutlenku węgla (CCUS) oraz wykorzystanie wodoru w przemyśle i transporcie, a także w bardziej efektywne budynki i urządzenia.

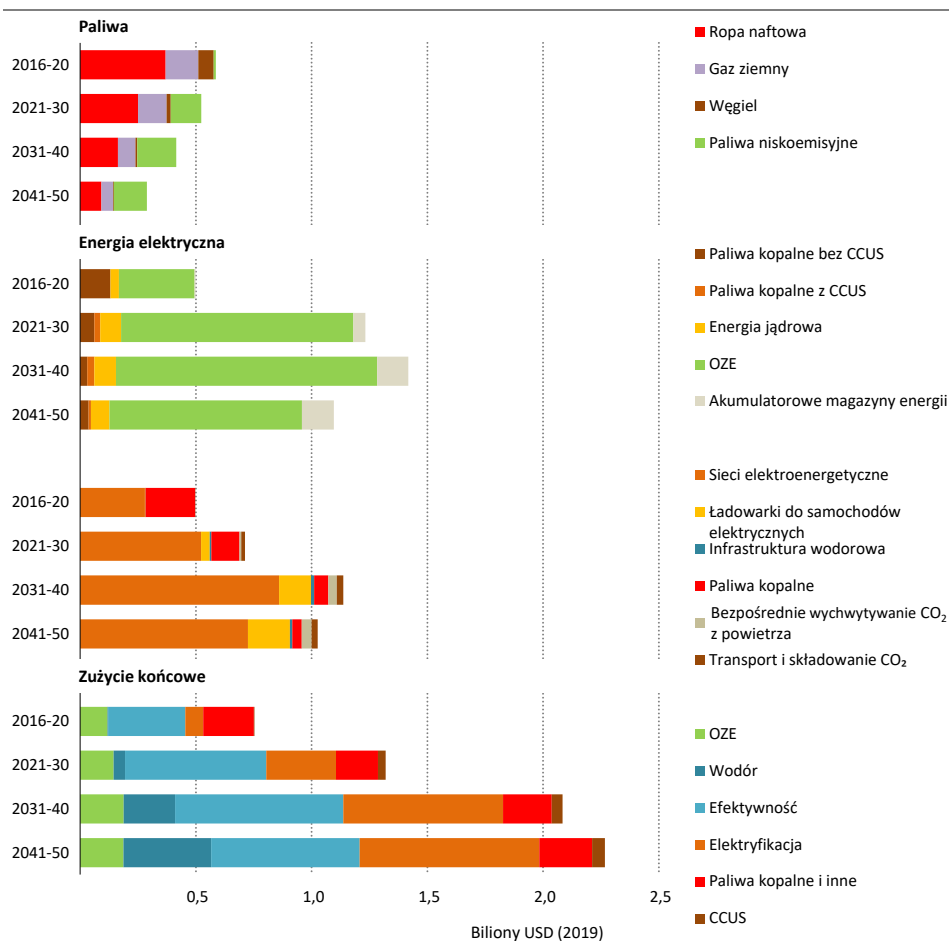
Globalne inwestycje w dostawy paliw kopalnych będą w scenariuszu NZE stale spadać ze średnio około 575 mld USD w ciągu ostatnich pięciu lat do 110 mld USD w 2050 r., przy czym inwestycje w produkcję paliw kopalnych będą ograniczać się do utrzymania produkcji na istniejących polach naftowych i gazowych. Inwestycje te odzwierciedlać będą fakt, że w scenariuszu NZE w 2050 r. paliwa kopalne będą nadal wykorzystywane w procesach, w których będą one połączone z systemami CCUS, w procesach bezemisyjnych (takich jak produkcja petrochemiczna) oraz w sektorach, w których redukcja emisji jest największym wyzwaniem (przy czym emisje te będą kompensowane przez usuwanie dwutlenku węgla). Inwestycje w paliwa niskoemisyjne wzrosną w latach 2020-2050 ponad trzydziestokrotnie, osiągając w 2050 r. wartość około 135 mld USD. Będą one podzielone mniej więcej po równo między produkcję wodoru i paliw na bazie wodoru oraz produkcję biopaliw.

W scenariuszu NZE, w latach 2021-2050 średnie roczne łączne inwestycje w sektorze energii jako udział w produkcie krajowym brutto (PKB) będą o około 1% wyższe niż w ciągu ostatnich pięciu lat. Sektor prywatny odgrywać będzie główną rolę w finansowaniu zwiększonych potrzeb inwestycyjnych. Wymaga to ściślejszej współpracy między deweloperami, inwestorami, publicznymi instytucjami finansowymi i rządami. W ciągu najbliższych pięciu do dziesięciu lat współpraca będzie mieć szczególne znaczenie dla rozwoju dużych projektów infrastrukturalnych oraz dla technologii znajdujących się obecnie w fazie demonstracyjnej lub prototypowej, takich jak niektóre zastosowania technologii wodorowych i CCUS. Przedsiębiorstwa i inwestorzy deklarują duże zainteresowanie inwestycjami w technologie czystej energii, ale przejście od zainteresowania do rzeczywistych inwestycji na poziomie wymaganym w scenariuszu NZE zależy również od polityk publicznych.

Konieczne jest usunięcie pewnych przeszkód dla inwestycji. Wiele rynków wschodzących i gospodarek rozwijających się jest uzależnionych od publicznych źródeł finansowania projektów energetycznych i nowych obiektów przemysłowych. W niektórych przypadkach poprawa ram regulacyjnych i politycznych ułatwiłaby międzynarodowy przepływ długoterminowego kapitału w celu wsparcia rozwoju zarówno nowych, jak i istniejących technologii czystej energii. Szybki wzrost inwestycji w sektorze transportu i budynków w scenariuszu NZE stanowi innego rodzaju wyzwanie dla decydentów politycznych. W wielu przypadkach wzrost wydatków kapitałowych na wydajne urządzenie lub niskoemisyjny pojazd byłby z nadwyżką zrekompensowany niższymi wydatkami na paliwa i energię

elektryczną w całym okresie użytkowania produktu, ale niektóre gospodarstwa domowe o niskich dochodach oraz małe i średnie przedsiębiorstwa mogą nie być w stanie pozwolić sobie na wymagany z góry kapitał na ten cel.

Rysunek 4.2 ▶ Globalne średnie roczne zapotrzebowanie na inwestycje w energetykę według sektorów i technologii w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Szybko wzrosną inwestycje w sektorach wytwarzania energii elektrycznej, infrastruktury i wykorzystania końcowego. Nastąpi gwałtowny spadek inwestycji w paliwa kopalne, częściowo zrównoważony przez wzrost inwestycji w paliwa niskoemisyjne

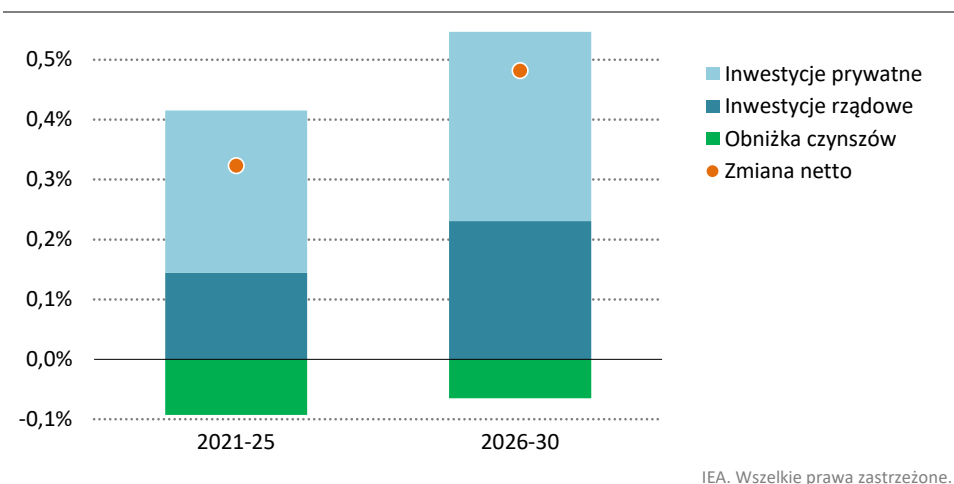
Wyjaśnienie: CCUS = wychwytywanie, wykorzystywanie i składowanie dwutlenku węgla; EV – pojazd elektryczny. Infrastruktura obejmuje sieci elektryczne, publiczne punkty ładowania pojazdów elektrycznych, rurociągi i obiekty do składowania CO₂, obiekty do bezpośredniego wychwytywania i składowania dwutlenku węgla, stacje tankowania wodoru oraz terminale importowe i eksportowe wodoru, a także rurociągi i terminale do paliw kopalnych. Inwestycje w efektywność końcowego wykorzystania energii są kosztem przystosowym poprawy charakterystyki energetycznej urządzeń w stosunku do konstrukcji konwencjonalnych.

4.2.2 Działalność gospodarcza

Transformacja energetyczna niezbędna do osiągnięcia zerowych emisji netto do 2050 r. będzie mieć bezpośredni lub pośredni wpływ na wszystkie rodzaje działalności gospodarczej. We współpracy z Międzynarodowym Funduszem Walutowym przeprowadziliśmy modelowanie średnioterminowych globalnych skutków makroekonomicznych zmian w sektorze energii, które nastąpią zgodnie ze scenariuszem ZEN. Analiza ta pokazuje, że gwałtowny wzrost wydatków prywatnych i rządowych na technologie czystej energii w scenariuszu NZE doprowadzi do powstania dużej liczby miejsc pracy i będzie stymulować produkcję w sektorze inżynierii, produkcji i budownictwa. W konsekwencji w drugiej połowie lat 2020. roczny wzrost PKB będzie o prawie 0,5% wyższy niż w Scenariuszu Ogłoszonych Polityk (STEPS)² (rysunek 4.3).³

4

Rysunek 4.3 ▸ Zmiana rocznego tempa wzrostu globalnego PKB w scenariuszu NZE w stosunku do scenariusza STEPS



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Gwałtowny wzrost inwestycji rządowych i prywatnych w scenariuszu NZE będzie mieć pozytywny wpływ na globalny PKB, ale wystąpią duże różnice między regionami

Wyjaśnienie: PKB = produkt krajowy brutto. Obniżka czynszów wynika głównie z niższych dochodów z paliw kopalnych.

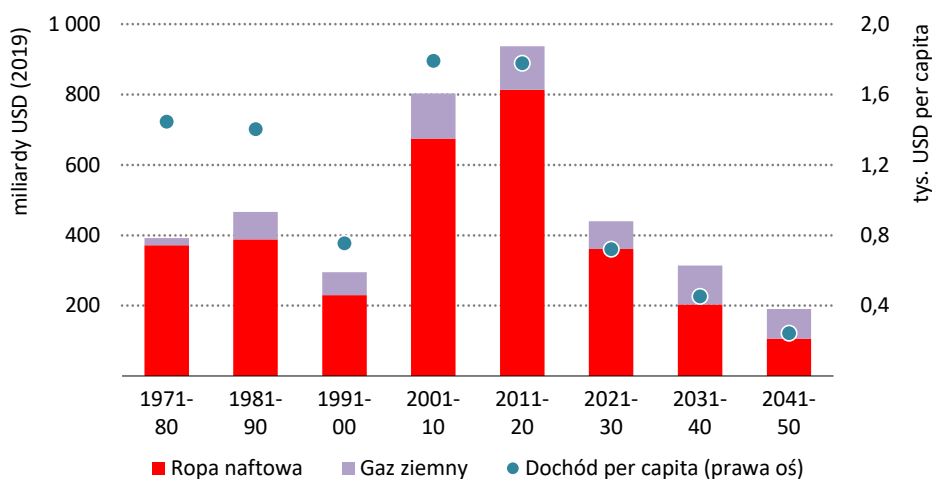
Źródło: Analiza IEA na podstawie danych MFW.

² Scenariusz Ogłoszonych Polityk IEA jest prognozą dla globalnego systemu energetycznego opartą na politykach i środkach, które rządy na całym świecie już wprowadziły oraz na zapowiedzianych politykach wyrażonych w oficjalnych celach i planach, takich jak Wkłady Ustalane na Poziomie Krajowym przedstawione w ramach Porozumienia paryskiego (zob. Rozdział 1).

³ Szacunkowy wpływ makroekonomiczny równowagi ogólnej wzrostu inwestycji publicznych i prywatnych oraz zmniejszenia dochodów związanych z ropą naftową uwzględnionych w scenariuszu NZE został przedstawiony przez Międzynarodowy Fundusz Walutowy przy zastosowaniu jego Globalnego Zintegrowanego Modelu Walutowego i Fiskalnego (GIMF).

Istnieją duże różnice pomiędzy poszczególnymi regionami, jeśli chodzi o skutki makroekonomiczne tych zmian. Spadek wykorzystania i cen paliw kopalnych spowoduje spadek PKB w gospodarkach producentów, gdzie dochody ze sprzedaży ropy i gazu ziemnego często pokrywają dużą część wydatków publicznych na edukację, opiekę zdrowotną i inne usługi publiczne. Spadek popytu na ropę naftową i gaz ziemny, a w konsekwencji spadek międzynarodowych cen ropy naftowej i gazu ziemnego, spowoduje, że dochód netto w gospodarkach producentów spadnie do najniższych w historii poziomów (Rysunek 4.4). Niektóre kraje posiadające najtańsze zasoby ropy naftowej (w tym członkowie Organizacji Krajów Eksportujących Ropę Naftową [OPEC]) zyskają w takich okolicznościach udział w rynku, ale nawet one odnotują duży spadek wpływów. Aby sprostać wyzwaniom społecznym, konieczne byłyby reformy strukturalne, w tym reformy mające na celu przyspieszenie procesu transformacji nieefektywnych dotacji do paliw kopalnych oraz przyspieszenie działań zmierzających do wykorzystania zasobów węglowodorów do produkcji paliw niskoemisyjnych, np. wodoru i paliw opartych na wodorze (zob. punkt 4.3.1).⁴

Rysunek 4.4 ► Dochody ze sprzedaży ropy naftowej i gazu ziemnego w gospodarkach producentów w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Niezbędne są reformy strukturalne i nowe źródła dochodów w państwach producentów, jednak jest mało prawdopodobne, by mogły one w pełni zrekomensować duży spadek dochodów z ropy naftowej i gazu ziemnego

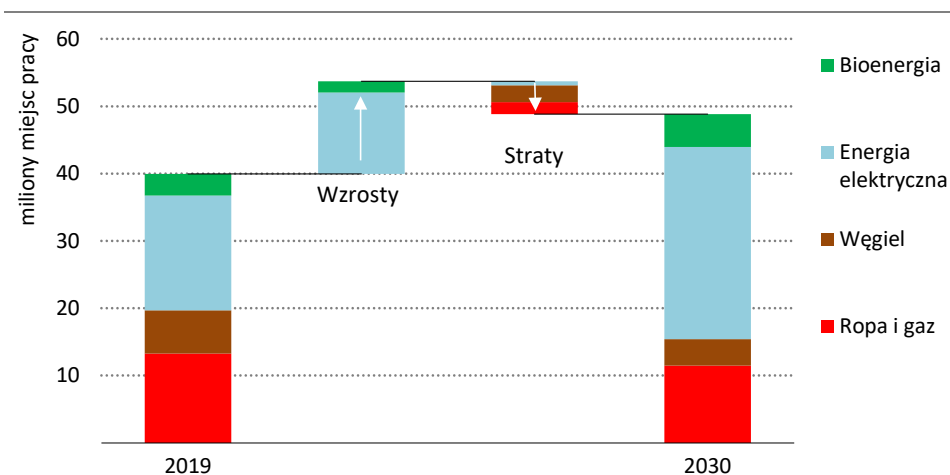
⁴ Gospodarki producentów to gospodarki krajów będących dużymi eksporterami ropy naftowej i gazu, które polegają na dochodach z węglowodorów w celu sfinansowania znacznej części swoich budżetów krajowych, w tym krajów Bliskiego Wschodu, Rosja i kraje regionu Morza Kaspijskiego.

Skutki makroekonomiczne realizacji scenariusza NZE są bardzo niepewne. Zależą one od wielu czynników, w tym sposobu finansowania wydatków rządowych, korzyści wynikających z poprawy stanu zdrowia, zmian w rachunkach konsumentów, szerokiego wpływu zmian w zachowaniach konsumentów oraz potencjału wzrostu wydajności wynikającego z przyspieszenia innowacji w dziedzinie energii. Niemniej jednak skutki będą prawdopodobnie słabsze niż szacunkowe koszty szkód spowodowanych zmianami klimatycznymi (OECD, 2015). Jest również prawdopodobne, że skoordynowana i uporządkowana transformacja będzie mogła zostać przeprowadzona bez poważnych globalnych systemowych skutków finansowych, ale będzie to wymagać szczególnej uwagi ze strony rządów, finansowych organów regulacyjnych i sektora przedsiębiorstw.

4.2.3 Zatrudnienie

W scenariuszu NZE zatrudnienie w sektorze energii zmieni się znacząco w odpowiedzi na zmiany w inwestycjach i wydatkach na energię. Szacujemy, że obecnie około 40 milionów ludzi na całym świecie jest bezpośrednio zatrudnionych w przemyśle naftowym, gazowym, węglowym, odnawialnych źródeł energii, bioenergii i sieci energetycznych (IEA, 2020b). W scenariuszu NZE zatrudnienie w sektorze czystej energii wzrośnie do 2030 r. o 14 mln miejsc pracy, podczas gdy zatrudnienie w sektorze dostaw ropy, gazu i węgla oraz w elektrowniach spadnie o około 5 mln miejsc pracy, co spowoduje wzrost netto o prawie 9 mln miejsc pracy (Rysunek 4.5).

Rysunek 4.5 ► Zatrudnienie w sektorze energii na świecie w scenariuszu NZE, 2019-2030



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Całkowite zatrudnienie w sektorze energii wzrośnie do 2030 r. o prawie 9 mln, ponieważ liczba miejsc pracy stworzonych w sektorach czystej energii przewyższy straty w sektorze paliw kopalnych

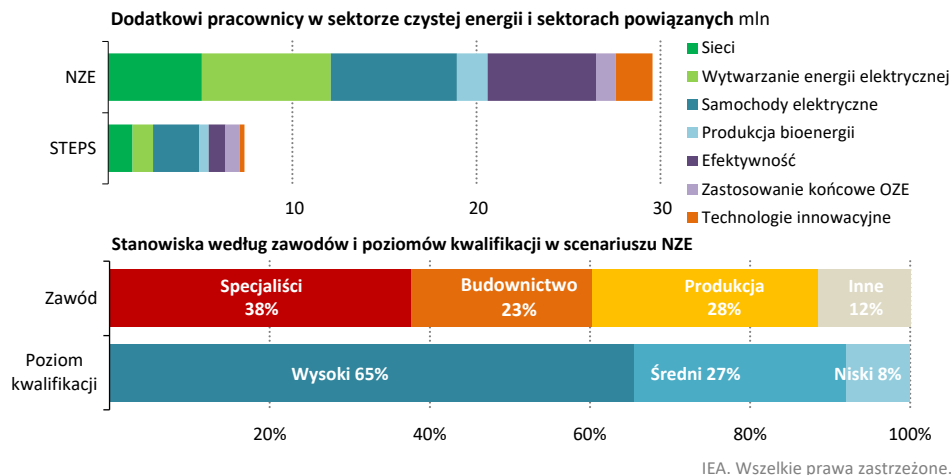
Tworzone miejsca pracy niekoniecznie będą znajdować się w tym samym obszarze, w którym zlikwidowano miejsca pracy, a ponadto może nie być możliwy bezpośredni transfer umiejętności wymaganych do pracy w sektorze czystej energii. Utrata miejsc pracy byłaby najbardziej odczuwalna w społecznościach, które są silnie uzależnione od produkcji lub przetwarzania energii ze paliw kopalnych. Nawet jeśli liczba zlikwidowanych miejsc pracy bezpośrednio w sektorze energii będzie niewielka, wpływ na lokalną gospodarkę może być znaczący. Prawie na pewno potrzebne będzie wsparcie rządowe, aby zarządzać tymi zmianami w sposób sprawiedliwy i ukierunkowany na ludzi. W ramach przygotowań konieczne będzie lepsze zrozumienie obecnego zatrudnienia w przemyśle energetycznym. Przydatnym działaniem byłoby przyjęcie przez rządy bardziej szczegółowych metod badania zatrudnienia w przemyśle energetycznym, takich jak te wykorzystane w raporcie *US Energy & Employment Report* (NASEO i Energy Futures Initiative, 2021).

Oprócz 14 milionów nowych miejsc pracy związanych z czystą energią, które powstaną zgodnie ze scenariuszem NZE, powstaną również inne nowe miejsca pracy w wyniku zmian w wydatkach na bardziej wydajne urządzenia, pojazdy elektryczne i pojazdy napędzane ogniwami paliwowymi, a także modernizację budynków i budownictwo energooszczędne. Zmiany te wymagać będą zatrudnienia kolejnych 16 mln pracowników, co oznacza, że do 2030 r. w scenariuszu NZE w sektorze czystej energii, efektywności i technologii niskoemisyjnych będzie pracować o 30 mln osób więcej (Rysunek 4.6).⁵ Inwestycje w wytwarzanie energii elektrycznej, sieci elektroenergetyczne, produkcję pojazdów elektrycznych i efektywność energetyczną należą do obszarów, które stworzą nowe możliwości zatrudnienia. Na przykład liczba miejsc pracy w sektorze energii fotowoltaicznej i wiatrowej w scenariuszu NZE wzrośnie ponad czterokrotnie w stosunku do obecnego poziomu. W scenariuszu NZE, prawie dwie trzecie pracowników zatrudnionych w tych sektorach do 2030 r. będzie wysoko pracownikami wykwalifikowanymi, a większość z nich będzie wymagać znacznego zakresu szkoleń. Ponadto wraz z ponad dwukrotnym wzrostem całkowitych inwestycji w energię, pojawią się nowe możliwości zatrudnienia w obszarach powiązanych, takich jak handel hurtowy czy usługi finansowe i prawne.

W wielu przypadkach możliwe jest przesunięcie pracowników do nowych linii produktowych w ramach tego samego przedsiębiorstwa, na przykład w produkcji pojazdów w miarę przestawiania produkcji na pojazdy elektryczne. Większe ryzyko wystąpi jednak w przypadku wyspecjalizowanych przedsiębiorstw w łańcuchu dostaw, które dostarczają produkty i usługi, np. silniki spalinowe zastępowane nowymi komponentami, takimi jak akumulatory.

⁵ Obejmuje to nowe miejsca pracy oraz miejsca pracy obsadzone w wyniku przeniesienia aktualnego zatrudnienia z jednego rodzaju produkcji do innego.

Rysunek 4.6 ▶ Nowi pracownicy w sektorze czystej energii i sektorach powiązanych oraz ich udział według poziomu kwalifikacji i zawodów w scenariuszach NZE i STEPS w 2030 r.



Do 2030 r. potrzeba będzie około 30 milionów nowych pracowników, aby sprostać zwiększonemu zapotrzebowaniu na czystą energię, efektywność i technologie niskoemisyjne; ponad połowa z nich będzie zatrudnionych na stanowiskach wymagających wysokich kwalifikacji

Wyjaśnienie: EV = pojazdy elektryczne.

Nowe miejsca pracy powstające w scenariuszu NZE charakteryzować się będą większą niż obecnie elastycznością geograficzną i szerszą dystrybucją. Około 40% stanowić będą miejsca pracy zlokalizowane w pobliżu miejsca wykonywania pracy, np. przy poprawie efektywności energetycznej budynków lub instalacji turbin wiatrowych, a pozostałe to miejsca pracy związane z zakładami produkcyjnymi. Obecnie zdolności produkcyjne w zakresie wielu technologii czystej energii, takich jak akumulatory i panele fotowoltaiczne, są skoncentrowane w określonych obszarach, zwłaszcza w Chinach. Szybki wzrost popytu na czyste technologie energetyczne w scenariuszu NZE wymagać będzie uruchomienia nowych mocy produkcyjnych, które mogłyby być zlokalizowane w dowolnym regionie. Kraje i firmy, które rozpoczną te działania jako pierwsze, mogą mieć strategiczną przewagę w przejmowaniu rosnącego popytu.

4.3 Branża energetyczna

4.3.1 Ropa naftowa i gaz ziemny

Transformacja energetyczna przewidziana w scenariuszu NZE wiąże się z poważnym ograniczeniem produkcji ropy naftowej i gazu, co będzie mieć daleko idące konsekwencje dla wszystkich firm produkujących te paliwa. Zapotrzebowanie na ropę naftową spadnie z około 90 mln baryłek dziennie (mb/d) w 2020 r. do 24 mb/d w 2050 r., natomiast zapotrzebowanie na gaz ziemny spadnie z 3 900 mld metrów sześciennych (mld m³) do około 1 700 mld m³. Ze względu na to, że nie będą potrzebne nowe złoża ropy naftowej i gazu ziemnego poza tymi, które zostały już zatwierdzone do eksploatacji, brak będzie konieczności poszukiwania paliw kopalnych. Stanowić to będzie wyraźne zagrożenie dla zysków przedsiębiorstw, ale stwarza też pewne szanse. Zasoby i umiejętności istniejące w przemyśle naftowym i gazowym są dobrze dopasowane do niektórych nowych technologii potrzebnych do rozwiązania problemu emisji w sektorach, w których redukcja emisji będzie prawdopodobnie największym wyzwaniem, a także do produkcji niektórych niskoemisyjnych płynów i gazów, na które w scenariuszu NZE występować będzie szybko rosnące zapotrzebowanie (zob. Rozdział 2). Dzięki współpracy z rządami i innymi zainteresowanymi podmiotami, przemysł naftowy i gazowy mógłby odegrać wiodącą rolę w rozwoju tych paliw i technologii na dużą skalę oraz w tworzeniu nowych modeli biznesowych.

Przemysł naftowy i gazowy jest bardzo zróżnicowany, a różne przedsiębiorstwa mogą realizować bardzo różne strategie w procesie przejścia do zerowych emisji netto. Ograniczenie do minimum emisji związanych z podstawową działalnością w sektorze naftowym i gazowym powinna być jednak priorytetem dla wszystkich spółek naftowych i gazowych. Obejmuje to rozwiązanie problemu emisji metanu powstającego podczas eksploatacji (w latach 2020-2030 w scenariuszu NZE spadną one o 75%) oraz eliminację flarowania gazu. Przedsiębiorstwa powinny również w miarę możliwości elektryfikować swoją działalność wykorzystując odnawialną energię elektryczną, albo poprzez zakup energii elektrycznej z sieci, albo poprzez integrację pozasieciowych odnawialnych źródeł energii w zakładach produkcyjnych lub infrastrukturze transportowej. Producenci, którzy wykażą się zdecydowanymi i skutecznymi działaniami na rzecz ograniczenia emisji, będą mogli wiarygodnie argumentować, że ich zasoby ropy naftowej i gazu ziemnego powinny być preferowane w stosunku do opcji o wyższej emisji.

Niektóre spółki naftowe i gazowe mogą zdecydować się na przekształcenie się w „spółki energetyczne” skupiające się na technologiach i paliwach niskoemisyjnych, w tym na odnawialnej energii elektrycznej, dystrybucji energii elektrycznej, ładowaniu pojazdów elektrycznych i akumulatorach. Niektóre technologie, które mają kluczowe znaczenie dla osiągnięcia zerowych emisji netto, takie jak CCUS, wodór, bioenergia i morska energia wiatrowa, wydają się szczególnie dobrze dostosowane do niektórych z istniejących umiejętności, kompetencji i zasobów spółek naftowych i gazowych.

- **Wychwytywanie, wykorzystywanie i składowanie dwutlenku węgla.** Branża ropy naftowej i gazu jest już światowym liderem w rozwoju i wdrażaniu technologii CCUS. Z

40 mln ton (Mt) CO₂ wychwytywanego obecnie w dużych obiektach, około trzy czwarte jest wychwytywane z operacji związanych z ropą naftową i gazem, w wyniku których często powstają skoncentrowane strumienie CO₂ których wychwytywanie jest stosunkowo łatwe i opłacalne (IEA, 2020c). Branża ropy naftowej i gazu dysponuje również dużymi umiejętnościami i możliwościami w zakresie inżynierii, rurociągów, instalacji podziemnych i zarządzania projektami, które pozwolą na obsługę dużych ilości CO₂ i pomogą w zwiększeniu skali wdrażania technologii CCUS.

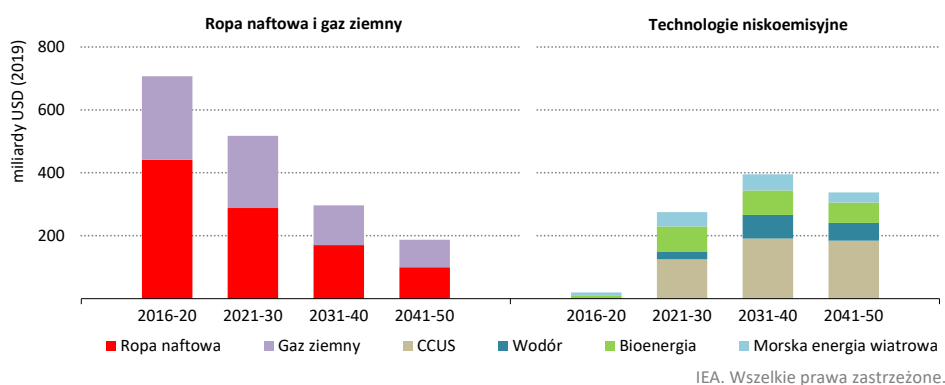
- **Niskoemisyjny wodór i paliwa na bazie wodoru.** Przedsiębiorstwa z branży ropy naftowej i gazu mogą przyczynić się do rozwoju i wdrażania niskoemisyjnego wodoru na kilka sposobów (IEA, 2019a). Prawie 40% produkcji wodoru w 2050 r. w scenariuszu NZE będzie pochodzić z gazu ziemnego przetwarzanego w obiektach wyposażonych w systemy CCUS, co stanowi istotną szansę dla przedsiębiorstw i krajów na wykorzystanie zasobów gazu ziemnego w sposób zapewniający zerowe emisje netto. Z całkowitej produkcji wodoru wynoszącej 530 Mt w 2050 r. około 30% będzie przetwarzane na amoniak i paliwa syntetyczne (co odpowiada około 7,5 mboe/d). Wiążące się z tym procesy przetwarzania charakteryzują się dużą potencjalną zgodnością z kwalifikacjami i urządzeniami wykorzystywanym w przetwórstwie i rafinacji ropy naftowej i gazu. Przedsiębiorstwa branży ropy naftowej i gazu mają również wieloletnie doświadczenie w transporcie płynów i gazów rurociągami i statkami.
- **Zaawansowane biopaliwa i biometan.** W scenariuszu NZE produkcja zaawansowanych biopaliw znacznie wzrośnie, ale zależy to w dużej mierze od ciągłych innowacji technologicznych. Wiele przedsiębiorstw z branży ropy naftowej i gazu prowadzi aktywne programy badawczo-rozwojowe w tych dziedzinach i może stać się wiodącymi producentami. Biometan – niskoemisyjna alternatywa dla gazu ziemnego – może być produkowany w dużych scentralizowanych obiektach, które mogą dobrze współgrać z e specjalistyczną wiedzą techniczną obecnych producentów gazu (IEA, 2020d).
- **Morska energia wiatrowa.** Około 40% kosztów cyklu życia standardowego projektu morskiej energetyki wiatrowej charakteryzuje się znaczną zgodnością z działalnością sektora wydobywania ropy naftowej i gazu ziemnego z mórz (IEA, 2019b). Branża ropy naftowej i gazu ma duże doświadczenie w pracy na morzu, co może być cenne przy budowie fundamentów i konstrukcji podwodnych dla morskich farm wiatrowych, zwłaszcza przy wykorzystaniu statków podczas instalacji i eksploatacji. Doświadczenie w utrzymywaniu standardów bezpieczeństwa w przedsiębiorstwach branży ropy naftowej i gazu może być również pomocne podczas konserwacji i kontroli morskich farm wiatrowych po ich oddaniu do eksploatacji.

Firmy branży ropy naftowej i gazu są w dobrej pozycji, aby przyspieszyć tempo rozwoju i wdrażania tych technologii oraz uzyskać przewagę handlową nad innymi przedsiębiorstwami. W scenariuszu NZE do 2030 r. wartość inwestycji w technologie niskoemisyjne zgodne z umiejętnościami i wiedzą specjalistyczną przedsiębiorstw z branży ropy naftowej i gazu przewyższy wartość inwestycji w tradycyjną działalność związaną z ropą naftową i gazem. Łączne wydatki kapitałowe na te technologie oraz na tradycyjną działalność związaną z ropą

naftową i gazem ziemnym wyniosą w latach 2021-2050 średnio 650 mld USD rocznie, czyli niewiele mniej niż roczne inwestycje w projekty związane z ropą naftową i gazem ziemnym w latach 2016-2020 (Rysunek 4.7).

Nie wszystkie przedsiębiorstwa z branży ropy naftowej i gazu zdecydują się na strategię dywersyfikacji w kierunku innych rodzajów energii. Na przykład nie jest pewne, czy narodowe spółki z branży naftowej zostaną zobowiązane przez swoich państwowych właścicieli do dywersyfikacji i rozwoju niskoemisyjnych źródeł energii poza ich głównym obszarem działalności; inne spółki mogą po prostu zdecydować się na skoncentrowanie się na dostarczaniu ropy naftowej i gazu ziemnego w sposób jak najbardziej czysty i efektywny oraz na generowaniu dochodów dla akcjonariuszy. Jasne jest jednak, że każde przedsiębiorstwo z branży ropy naftowej lub gazu odczuje skutki realizacji scenariusza NZE i że wszystkie podmioty w tej branży muszą zdecydować, jak na nie zareagować (IEA, 2020e).

Rysunek 4.7 ▸ Średnioroczne inwestycje w branżę ropy naftowej i gazu oraz w technologie niskoemisyjne dające efekty synergii dla branż ropy naftowej i gazu w scenariuszu NZE



Wartość inwestycji w technologie niskoemisyjne zgodne z umiejętnościami i wiedzą specjalistyczną przedsiębiorstw z branży ropy naftowej i gazu przewyższy wartość inwestycji w tradycyjną działalność do 2030 r.

Wyjaśnienie: CCUS = wychwytywanie, wykorzystywanie i składowanie dwutlenku węgla.

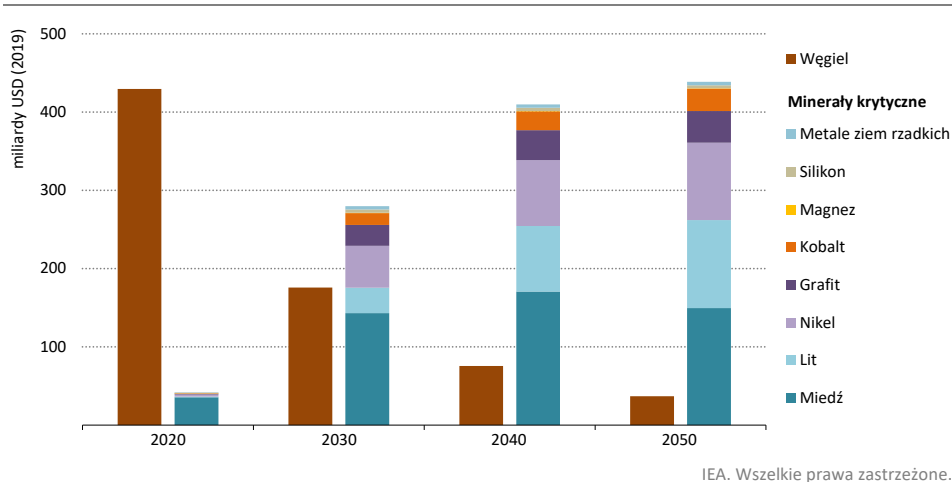
4.3.2 Węgiel

Gwałtowny spadek zużycia węgla przewidywany w scenariuszu NZE będzie mieć poważne konsekwencje dla przyszłości przedsiębiorstw górniczych i krajów o dużych istniejących mocach produkcyjnych. W scenariuszu NZE w 2050 r. około 470 milionów ton ekwiwalentu węgla (Mtce) będzie zużywanych w obiektach wyposażonych w CCUS (80% globalnego zapotrzebowania na węgiel w 2050 r.), co zapobiegnie jeszcze gwałtowniejszemu spadkowi popytu. W scenariuszu NZE nie są jednak potrzebne żadne nowe kopalnie węgla ani rozbudowa kopalń istniejących. Programy przekwalifikowania i regionalnej rewitalizacji będą mieć zasadnicze znaczenie dla zmniejszenia społecznych skutków utraty miejsc pracy na

poziomie lokalnym oraz dla umożliwienia pracownikom i społecznościom znalezienia alternatywnych źródeł utrzymania. Na obszarach najbardziej dotkniętych zamykaniem kopalń mogą również istnieć możliwości lokalizacji nowych zakładów wytwarzających czystą energię, w tym nowych zakładów przetwórczych, które są potrzebne w przypadku minerałów krytycznych.

Dla przedsiębiorstw górniczych spadek popytu na węgiel w scenariuszu NZE może jednak zostać zrównoważony przez konieczność zwiększenia wydobycia innych surowców mineralnych, w tym surowców o kluczowym znaczeniu dla wielu technologii czystej energii, takich jak miedź, lit i nikiel (IEA, 2021a). Scenariusz NZE przewiduje gwałtowny wzrost globalnego zapotrzebowania na te minerały krytyczne (Rysunek 4.8). Na przykład popyt na lit wykorzystywany w akumulatorach wzrośnie 30-krotnie do 2030 r., natomiast popyt na metale ziem rzadkich, wykorzystywane głównie do produkcji silników dla pojazdów elektrycznych i turbin wiatrowych, wzrośnie do 2030 r. 10-krotnie. Kluczowe zasoby mineralne nie zawsze znajdują się w tych samych miejscach lub krajach, co istniejące kopalnie węgla, ale umiejętności i doświadczenie przedsiębiorstw górniczych będą mieć zasadnicze znaczenie dla zapewnienia, że podaż tych minerałów będzie w stanie zaspokoić popyt z zachowaniem rozsądnych cen. Do 2040 r. wielkość światowego rynku tych minerałów będzie zbliżona do wielkości dzisiejszego rynku węgla.

Rysunek 4.8 ► Globalna wartość węgla i wybranych minerałów krytycznych w scenariuszu NZE



W latach 2040. wielkość rynku minerałów krytycznych zbliży się do obecnej wielkości rynku węgla

Wyjaśnienie: Obejmuje to całkowity dochód z węgla i z wybranych minerałów krytycznych wykorzystywanych w technologiach czystej energii. Ceny minerałów krytycznych określono w oparciu o konserwatywne założenia dotyczące wzrostu kosztów (około 10-20% wzrost do 2050 r. w stosunku do obecnego poziomu).

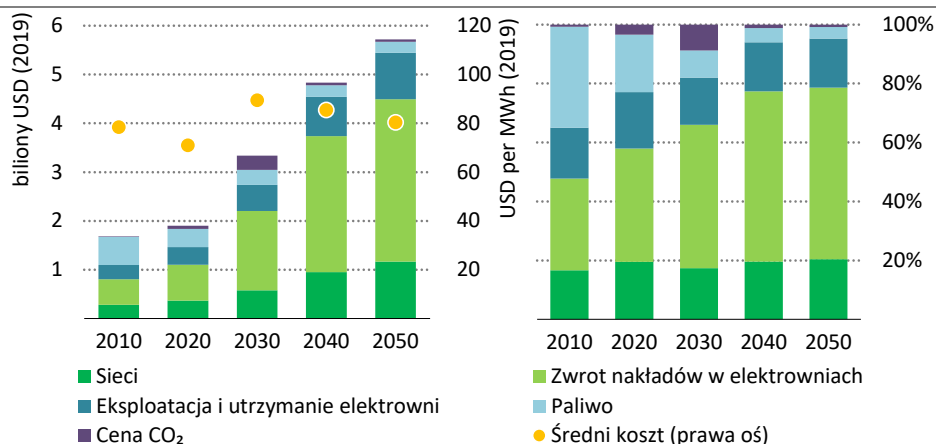
4.3.3 Energia elektryczna

Osiągnięcie zerowych emisji netto wymagać będzie ogromnej ekspansji sektora energii elektrycznej w celu zaspokojenia potrzeb rosnącej gospodarki światowej, elektryfikacji końcowego zużycia, które wcześniej wykorzystywało paliwa kopalne, a także produkcji wodoru w procesie elektrolizy. Chociaż zapotrzebowanie na energię elektryczną wzrośnie ponad dwuipółkrotnie, szybka transformacja przemysłu oznacza, że całkowite koszty dostaw energii elektrycznej w latach 2020-2050 w scenariuszu NZE ulegną potrojeniu, przy czym średni koszt wytworzenia jednostki energii elektrycznej wzrośnie w stopniu umiarkowanym (Rysunek 4.9.).

Również branża dystrybucji energii elektrycznej stanie się znacznie bardziej kapitałochłonna, co przyspieszy ostatnio obserwowany trend. Udział kapitału w kosztach całkowitych wzrośnie z poniżej 60% w 2020 r. (czyli już o dziesięć punktów procentowych więcej niż w 2010 r.) do około 80% w 2050 r. Wynika to w dużej mierze z ogromnego wzrostu udziału energii odnawialnej i związanego z tym zapotrzebowania na większą przepustowość sieci i źródła elastyczności, w tym akumulatory. W końcówce lat 2020. i w latach 2030. modernizacja i wymiana istniejących elektrowni fotowoltaicznych i wiatrowych w miarę zbliżania się końca ich okresu eksploatacji również zwiększy potrzeby kapitałowe.⁶ W scenariuszu NZE nakłady inwestycyjne dodatkowo zwiększą nowopowstające elektrownie jądrowe. Rosnąca kapitałochłonność sektora elektroenergetycznego zwiększy znaczenie ograniczenia ryzyka dla nowych inwestycji i zapewnienia operatorom sieci wystarczających dochodów we wszystkich latach na sfinansowanie rosnących potrzeb inwestycyjnych – kwestię tę podkreślają trudności finansowe, jakich doświadczyli niektórzy operatorzy sieci w 2020 r. w związku z obniżonym popytem na energię elektryczną wynikającym z kryzysu wywołanego przez pandemię COVID-19 (IEA, 2020f).

⁶ Zazwyczaj wymagają one wymiany po 25-30 latach eksploatacji, podczas gdy wiele konwencjonalnych elektrowni wodnych, jądrowych i węglowych działa znacznie dłużej, choć wymagają one okresowych dodatkowych inwestycji.

Rysunek 4.9 ▸ Globalne koszty pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną według składników w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Koszty systemu elektroenergetycznego potroją się do 2050 r., podnosząc średnie koszty dostaw w umiarkowanym stopniu; masowy rozwój odnawialnych źródeł energii sprawi, że sektor ten stanie się bardziej kapitałochłonny

Wyjaśnienie: Koszty pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną obejmują wszystkie bezpośrednie koszty produkcji i przesyłu energii elektrycznej do konsumentów. Zwrot nakładów w przypadku elektrowni uwzględnia systemy magazynowania energii w akumulatorach.

Rosnący udział odnawialnych źródeł energii w miksie produkcji energii elektrycznej ma istotne implikacje dla organizacji rynków energii elektrycznej. Gdy udział energii słonecznej, wiatrowej, innych zmiennych źródeł odnawialnych oraz energii jądrowej osiągnie wysoki poziom, podaż energii elektrycznej bez kosztów krańcowych często przewyższać będzie zapotrzebowanie na nią, co będzie skutkować zerową lub nawet ujemną ceną hurtową energii elektrycznej. Do 2050 r., bez zmian w organizacji rynku energii elektrycznej, około 7% mocy elektrowni wiatrowych i fotowoltaicznych w scenariuszu NZE będzie wykraczać poza możliwości ich zintegrowania (i tym samym ograniczenia), a udział godzin z zerową ceną w roku wzrośnie do około 30% na najważniejszych rynkach z poziomu bliskiego zera obecnie, pomimo aktywnego wykorzystania zarządzania popytem. Jeżeli udział odnawialnych źródeł energii w miksie energetycznym ma wzrosnąć zgodnie z założeniami scenariusza NZE, wysoce pożądane byłoby zatem wprowadzenie istotnych zmian w organizacji rynków energii elektrycznej, tak aby zapewnić sygnały dla inwestycji, w tym inwestycji w źródła elastyczności, takie jak akumulatorowe magazyny energii i sterowalne elektrownie.

Wzrost zużycia energii elektrycznej nieuchronnie podniesie związane z tym koszty. W scenariuszu NZE koszty eksploatacji i utrzymania elektrowni na całym świecie w 2050 r. wyniosą blisko 1 bilion USD, czyli dwa i pół raza więcej niż w 2020 r. W 2020 r. na utrzymanie elektrowni na paliwa kopalne przeznaczono 150 mld USD i prawie tyle samo na odnawialne źródła energii, głównie na elektrownie wodne. Do 2050 r. koszty eksploatacji i utrzymania

odnawialnych źródeł energii osiągną 780 mld USD, z czego większość przypadać będzie na energię wiatrową i fotowoltaikę (PV) w związku z ich znacznym rozwojem: na samą morską energetykę wiatrową przypadać będzie 90 mld USD.

Duży spadek zużycia paliw kopalnych w sektorze energii elektrycznej oraz niższe ceny paliw spowodują, że koszty związane z paliwami i cenami CO₂ będą znacznie niższe. Będzie to stanowić kontynuację obserwowanego ostatnio trendu spowodowanego niemal rekordowo niskimi cenami gazu ziemnego na wielu rynkach. Nawet przy rosnących z czasem cenach CO₂, szybka dekarbonizacja sektora energii elektrycznej będzie oznaczać, że udział paliw i CO₂ w kosztach całkowitych zmaleje z około jednej czwartej w 2020 r. do 5% w 2050 r. Bilans kosztów paliw przesunie się w kierunku źródeł niskoemisyjnych, głównie energetyki jądrowej i bioenergii (w tym z CCUS), choć nadal część kosztów dotyczyć będzie gazu ziemnego i węgla wykorzystywanych w elektrowniach wyposażonych w systemy CCUS.

Jednym z wyzwań w tym kontekście będzie znalezienie odpowiedzi na pytanie o to, co zrobić z działającymi elektrowniami węglowymi. W 2020 r. na całym świecie elektrownie o łącznej mocy ponad 2 100 gigawatów (GW) wykorzystywały węgiel do produkcji energii elektrycznej i ciepła, generując prawie 30% wszystkich związanych z energią emisji CO₂. Dostępne możliwości obejmują modernizację elektrowni węglowych z zastosowaniem technologii CCUS, współspalanie z biomasą lub amoniakiem, zmianę przeznaczenia elektrowni węglowych w celu zapewnienia elastyczności oraz, tam gdzie to możliwe, wycofanie ich z eksploatacji. W ramach scenariusza NZE wszystkie elektrownie węglowe bez systemów redukcji emisji zostaną wycofane z eksploatacji w gospodarkach rozwiniętych do 2030 r., a na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się do 2040 r. W rezultacie emisje z elektrowni węglowych spadną z 9,8 gigaton (Gt) w 2020 r. do 3,0 Gt w 2030 r. i do zaledwie 0,1 Gt do 2040 r. (emisje rezydualne z elektrowni węglowych z CCUS).⁷

Kolejne wyzwanie związane jest ze przewidywaną skalą wycofywania obiektów z eksploatacji i związaną z tym rekultywacją terenów, począwszy od elektrowni węglowych. Tempo wycofywania elektrowni węglowych z eksploatacji w latach 2020-2050 będzie niemal trzykrotnie wyższe niż w ostatniej dekadzie. Likwidacja każdego obiektu może często trwać dekadę i pociągać za sobą znaczne koszty, a także może wiązać się z zamknięciem kopalni. W niektórych przypadkach atrakcyjna finansowo może być budowa projektu energetyki odnawialnej w tym samym miejscu, z wykorzystaniem połączenia z siecią elektroenergetyczną, co pozwoli na ograniczenie kosztów rekultywacji. Do 2050 r. z eksploatacji zostaną również wycofane tysiące elektrowni opalanych gazem ziemnym i olejem opałowym, choć obiekty te często charakteryzują się strategiczną lokalizacją w sieci i wiele z nich prawdopodobnie zostanie zastąpionych bezpośrednio systemami magazynowania energii w akumulatorach.

Duża liczba starzejących się reaktorów jądrowych w gospodarkach rozwiniętych oznacza wzrost liczby obiektów wycofywanych z eksploatacji, pomimo wielu przypadków przedłużenia okresu eksploatacji reaktorów. W scenariuszu NZE średnia roczna liczba

⁷ Zakłada się, że stopień wychwytywania CO₂ wynosić będzie 90%, choć wyższy poziom jest technicznie możliwy przy niższej sprawności i dodatkowych kosztach (IEA, 2020g).

elektrowni jądrowych wycofywanych z eksploatacji w skali globalnej będzie w ciągu najbliższych 30 lat o 60% wyższa niż w ostatniej dekadzie. Każdy projekt likwidacji elektrowni jądrowej może trwać dziesiątki lat, a jego koszty wahają się od kilkuset milionów dolarów do znacznie ponad 1 miliarda dolarów w przypadku dużych reaktorów (NEA, 2016).

4.3.4 *Energochłonne branże przemysłu*

Zmiany przewidziane w scenariuszu NZE będą mieć ogromny wpływ na branże produkujące pojazdy oraz dostawców materiałów i części. Około 95% wszystkich samochodów osobowych i prawie wszystkie samochody ciężarowe sprzedane na świecie w 2020 r. były pojazdami konwencjonalnymi z silnikiem wewnętrznego spalania. W scenariuszu NZE około 60% globalnej sprzedaży samochodów w 2030 r. stanowić będą pojazdy elektryczne, a 85% dużych samochodów ciężarowych sprzedawanych w 2040 r. stanowić będą pojazdy elektryczne lub pojazdy napędzane ogniwami paliwowymi. W scenariuszu NZE zarówno dostawcy części samochodowych, jak i producenci pojazdów przebudują fabryki, zmieniają konstrukcje tak, aby uwzględnić w nich akumulatory i ogniwa paliwowe, oraz dostosują łańcuchy dostaw tak, aby zminimalizować intensywność emisji w cyklu życia pojazdów. Stworzy to możliwości przeprojektowania istniejących części i procesów produkcyjnych w celu poprawy efektywności i obniżenia kosztów.

Szybki wzrost sprzedaży pojazdów elektrycznych w scenariuszu NZE wymagać będzie natychmiastowego zwiększenia skali nowych łańcuchów dostaw akumulatorów, a także infrastruktury do ładowania i niskoemisyjnego tankowania. W scenariuszu NZE zdolności produkcyjne w zakresie akumulatorów wzrosną do ponad 6,5 terawatogodzin (TWh) do 2030 r., w porównaniu z mniej niż 0,2 TWh w 2020 r. Jakiegokolwiek opóźnienia w zwiększaniu zdolności produkcyjnych akumulatorów będą mieć negatywny wpływ na wprowadzenie pojazdów elektrycznych na rynek oraz spowolni obniżanie kosztów innych technologii czystej energii, które w scenariuszu NZE korzystają z podobnych procesów produkcyjnych i know-how (takich jak pojazdy napędzane ogniwami paliwowymi i elektrolizery).

W lotnictwie i transporcie morskim kluczowe znaczenie dla ograniczenia emisji mają niskoemisyjne paliwa płynne. Przejście na niektóre z nich miałyby niewielki wpływ na konstrukcję statków: stosowanie paliw lub biopaliw opartych na wodorze w żegludze wymagałoby jedynie zmian w silniku i układzie paliwowym, a bionafta lub nafta syntetyczna mogą być stosowane w istniejących samolotach. Realizacja scenariusza NZE wymaga jednak nowej infrastruktury bunkrowania i tankowania, a stosowanie tych paliw niskoemisyjnych wymaga również nowych norm bezpieczeństwa i standaryzacji, protokołów dotyczących wydawania pozwoleń, budowy i projektowania, a także międzynarodowych regulacji, monitorowania, sprawozdawczości i weryfikacji ich produkcji i stosowania.

W branżach przemysłu ciężkiego, tzn. przemyśle stalowym, cementowym i chemicznym, większość technologii głębokiej redukcji emisji nie jest obecnie dostępna na rynku. W scenariuszu NZE producenci materiałów wkrótce zademonstrują procesy o niemal zerowej emisji, korzystając ze wsparcia rządowych mechanizmów podziału ryzyka, i zaczną dostosowywać swoje istniejące obiekty produkcyjne. W przypadku firm międzynarodowych

obejmuje to opracowywanie strategii transferu technologii w celu wdrożenia procesów we wszystkich zakładach. W zapewnieniu równych szans dla wszystkich pomogłaby współpraca międzynarodowa. Działania podejmowane w poszczególnych krajach będą koncentrować się na węzłach przemysłowych w celu przyspieszenia redukcji emisji w wielu sektorach przemysłu poprzez promowanie korzyści wynikających ze skali w odniesieniu do nowej infrastruktury (takiej jak infrastruktura transportu i składowania CO₂) oraz dostaw niskoemisyjnej energii.

W scenariuszu NZE producenci materiałów współpracować będą z rządami krajów w celu stworzenia międzynarodowego systemu certyfikacji materiałów o niemal zerowej emisji, aby odróżnić je od materiałów konwencjonalnych. Umożliwi to nabywcom materiałów, takim jak producenci pojazdów i przedsiębiorstwa budowlane, zawieranie umów na zakup materiałów o niemal zerowej emisji po wyższej cenie. W większości przypadków ta wyższa cena miałaby jedynie niewielki wpływ na ostateczną cenę produktu, biorąc pod uwagę, że materiały stanowią zazwyczaj niewielką część kosztów produkcji (Material Economics, 2019).

4.4 Obywatele

4.4.1 Cele Zrównoważonego Rozwoju związane z energią

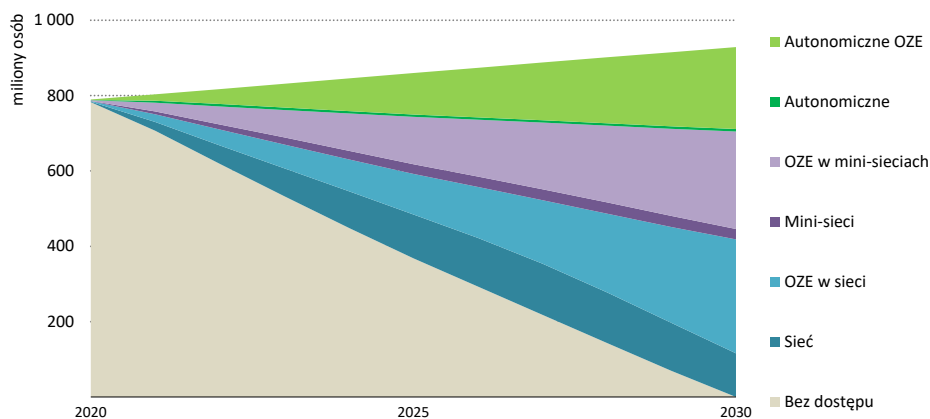
Kluczem do szybkiego, wspólnego i konsekwentnego dążenia świata do osiągnięcia zerowych emisji netto do połowy stulecia jest włączająca i skoncentrowana na ludziach transformacja. Scenariusz NZE realizuje związane z energetyką Cele Zrównoważonego Rozwoju (CZR) ONZ: powszechny dostęp do czystej, nowoczesnej energii do 2030 r. (CZR 7.1) oraz ograniczenie przedwcześniejszych zgonów spowodowanych zanieczyszczeniem powietrza (CZR 3.9). Technologie, opcje i środki stosowane w celu osiągnięcia pełnego dostępu do niskoemisyjnej energii elektrycznej i czystych rozwiązań w zakresie gotowania do 2030 r. w scenariuszu NZE przyczynią się również do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych (GHG) pochodzących z wykorzystania energii w gospodarstwach domowych.

Dostęp do energii

W 2020 r. około 790 milionów ludzi na świecie nie miało dostępu do energii elektrycznej, z czego większość mieszkała w Afryce Subsaharyjskiej i krajach rozwijających się w Azji. Około 2,6 miliarda ludzi nie miało dostępu do możliwości czystego gotowania: 35% z nich mieszkało w Afryce Subsaharyjskiej, 25% w Indiach i 15% w Chinach. Brak dostępu do energii nie tylko hamuje rozwój gospodarczy, ale także powoduje poważne szkody dla zdrowia i stanowi barierę dla postępu w zakresie równości płci i edukacji.⁸

⁸ Gospodarstwa domowe polegające na tradycyjnym wykorzystaniu biomasy do gotowania poświęcają około 1,4 godziny każdego dnia na zbieranie drewna opałowego i kilka godzin na gotowanie w nieefektywnych piecach, co obciąża w dużej mierze kobiety (IEA, 2017).

Rysunek 4.10 ▶ Osoby uzyskujące dostęp do energii elektrycznej według rodzaju przyłącza na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

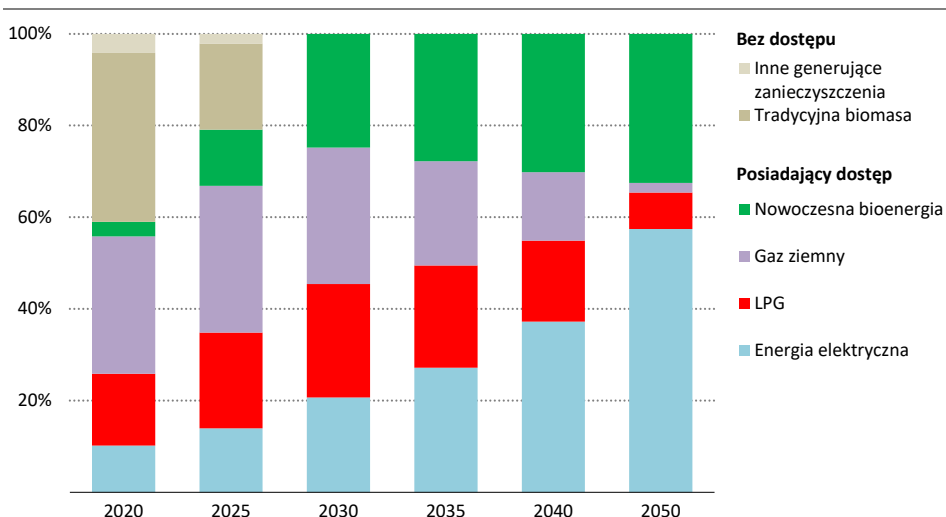
Ponad 80% osób uzyskujących dostęp do energii elektrycznej do 2030 r. będzie korzystał z energii odnawialnej, a nieco ponad połowa z systemów pozasieciowych

Okolo 45% osób, które do 2030 roku nie będą mieć dostępu do energii elektrycznej, uzyska go dzięki przyłączeniu do sieci, podczas gdy pozostała część będzie obsługiwana przez minisieci (30%) i rozwiązania autonomiczne (25%) (Rysunek 4.10). Prawie wszystkie rozwiązania pozasieciowe lub w ramach minisieci będą w 100% bazować na energii odnawialnej. Systemy zdecentralizowane oparte na generatorach spalinowych, które są również stosowane w niektórych systemach podłączonych do sieci, aby zrekompensować niską niezawodność, będą stopniowo wycofywane i zastępowane systemami magazynowania energii fotowoltaicznej. Osiągnięcie pełnego dostępu nie doprowadzi do znacznego wzrostu globalnych emisji: w 2030 r. przyczyni się do zwiększenia emisji CO₂ o mniej niż 0,2%. Osiągnięcie pełnego dostępu do energii elektrycznej przyniesie również korzyści w zakresie efektywności i przyspieszy elektryfikację urządzeń, co będzie mieć zasadnicze znaczenie dla redukcji emisji w budynkach po 2030 r. na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się.

Jeśli chodzi o czyste gotowanie, 55% osób, które uzyskają dostęp do takich możliwości do 2030 roku w ramach scenariusza ZEN, będzie wykorzystywać ulepszone piece na biomasę (UPB) spalające nowoczesną biomasę, biogaz lub etanol, 25% będzie wykorzystywać gaz płynny (LPG), a 20% będzie korzystał z urządzeń elektrycznych (Rysunek 4.11). LPG będzie głównym paliwem stosowanym na obszarach miejskich, a UPB będzie główną opcją na obszarach wiejskich. Stosowanie LPG spowoduje niewielki wzrost emisji CO₂ w 2030 r., ale redukcję netto całkowitej emisji gazów cieplarnianych ze względu na zmniejszenie emisji metanu, podtlenków azotu i czarnego węgla w wyniku tradycyjnego stosowania biomasy. Ponadto po 2030 r. LPG będzie w coraz większym stopniu obniżać emisyjność dzięki

wykorzystaniu butanu i propanu ze źródeł biologicznych (bioLPG), produkowanego w sposób zrównoważony ze stałych odpadów komunalnych (SOK) i innych surowców odnawialnych. Potencjał techniczny produkcji bioLPG z SOK w 2050 r. w Afryce mógłby wystarczyć do zaspokojenia potrzeb w zakresie gotowania ponad 750 milionów ludzi (GLPGP, 2020; Liquid Gas Europe, 2021).

Rysunek 4.11 ▶ Podstawowe paliwo do gotowania według udziału w populacji na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Do 2030 r. tradycyjna biomasa zostanie całkowicie zastąpiona nowoczesną energią, głównie w postaci bioenergii i LPG; do 2050 r. energia elektryczna, bioenergia i bioLPG będą zaspokajać większość potrzeb w zakresie gotowania

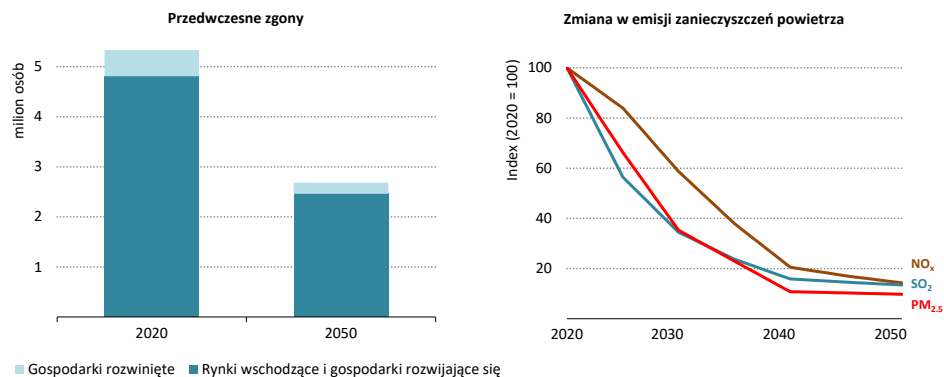
Wyjaśnienie: Nowoczesna bioenergia obejmuje wykorzystanie ulepszonych pieców kuchennych, biogaz i etanol. Gaz płynny (LPG) obejmuje paliwa kopalne i odnawialne.

Osiągnięcie powszechnego dostępu do czystej energii do 2030 r. wymagać będzie od rządów i darczyńców traktowania rozszerzenia dostępu jako kluczowego elementu planów i programów naprawczych. Da to wielorakie korzyści: znaczne inwestycje w dostęp do energii zapewniłyby natychmiastowy impuls gospodarczy, stworzyłyby lokalne miejsca pracy i przyniosłyby trwałą poprawę dobrobytu społeczeństwa poprzez modernizację usług zdrowotnych i łańcuchów żywnościowych. W scenariuszu NZE od chwili obecnej do 2030 r. około 35 mld USD rocznie wydawane będzie na poprawę dostępu do energii elektrycznej, a niemal 7 mld USD rocznie – na rozwiązania w zakresie czystego gotowania dla ludzi w krajach o niskich dochodach.

Ponad 90% ludzi na całym świecie jest dziś narażonych na skutki zanieczyszczonego powietrza. Zanieczyszczenie to doprowadziło do około 5,4 mln przedwczesnych zgonów w 2020 r., osłabiając wydajność gospodarek i dodatkowo obciążając systemy opieki zdrowotnej. Większość z tych zgonów miała miejsce na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się. Nieco ponad połowa z nich była spowodowana narażeniem na zanieczyszczenie powietrza na zewnątrz budynków; pozostała część wynikała z oddychania zanieczyszczonym powietrzem w pomieszczeniach, co było spowodowane głównie tradycyjnym stosowaniem biomasy do gotowania i ogrzewania.

W scenariuszu NZE związane z energią emisje trzech głównych zanieczyszczeń powietrza, tzn. dwutlenku siarki (SO_2), tlenków azotu (NO_x) i drobnych cząstek stałych ($\text{PM}_{2.5}$), ulegną gwałtownemu obniżeniu. Emisje SO_2 spadną w latach 2020-2050 o 85%, głównie w wyniku dużej skali wycofywania z eksploatacji elektrowni węglowych i zakładów przemysłowych. Również emisje NO_x spadną o około 85% w wyniku zwiększonego wykorzystania energii elektrycznej, wodoru i amoniaku w sektorze transportu. Zwiększone rozpowszechnienie czystych paliw do gotowania w krajach rozwijających się, wraz ze środkami kontroli zanieczyszczenia powietrza w przemyśle i transporcie, będzie skutkowało 90% spadkiem emisji $\text{PM}_{2.5}$ (Rysunek 4.12). Zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza w scenariuszu NZE doprowadzi do zmniejszenia o około połowę liczby przedwczesnych zgonów w 2050 r. w porównaniu z 2020 r., ratując życie około 2 mln osób rocznie, z czego około 85% na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się.

Rysunek 4.12 ► Globalne przedwczesne zgony i emisje zanieczyszczeń powietrza w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Redukcja głównych zanieczyszczeń powietrza oznacza 2 miliony mniej przedwczesnych zgonów rocznie

Źródła: Analiza IEA na podstawie danych IIASA.

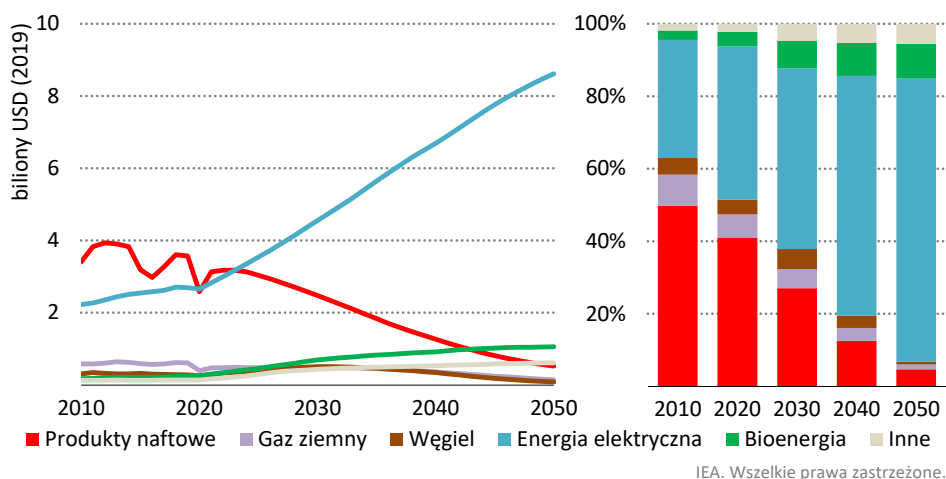
4.4.2 Przystępność cenowa

Całkowite wydatki na energię

Przystępność cenowa energii jest kluczowym problemem dla rządów, przedsiębiorstw i gospodarstw domowych. Globalne bezpośrednie wydatki na energię, tj. łączne rachunki za paliwo płacone przez wszystkich użytkowników końcowych, które w 2020 r. wyniosły 6,3 bln USD, wzrosną o 45% do 2030 r. i o 75% do 2050 r., co w dużej mierze odzwierciedlać będzie wzrost liczby ludności i PKB w tym okresie. W przeliczeniu na udział w światowym PKB liczby te wyglądają zupełnie inaczej: całkowite bezpośrednie wydatki na energię utrzymają się na stałym poziomie około 8% do 2030 r. (podobnie jak średnia z ostatnich pięciu lat), ale następnie spadną do 6% w 2050 r. Spadek ten zrównoważy znaczną część wzrostu kosztów zakupu nowych, bardziej wydajnych urządzeń zużywających energię.

Część wzrostu wydatków na energię w scenariuszu NZE związana jest z rosnącymi cenami CO₂ oraz zniesieniem dopłat do zużycia paliw kopalnych i energii elektrycznej. Opłaty za emisje CO₂ (podatki i systemy handlu uprawnieniami do emisji) uiszczane przez użytkowników końcowych w szczytowym okresie będą w scenariuszu NZE generować globalne wpływy w wysokości blisko 700 mld USD rocznie w latach 2030-2035, a następnie będą stale maleć ze względu na spadek całkowitych emisji: wpływy te można by ponownie wprowadzić do gospodarek lub w inny sposób wykorzystać do poprawy dobrobytu konsumentów, w szczególności gospodarstw domowych o niskich dochodach. W scenariuszu NZE przewidziano również stopniową eliminację dofinansowania do zużycia paliw kopalnych, z których wiele przynosi nieproporcjonalnie duże korzyści bogatszym segmentom społeczeństwa, które zużywają więcej dofinansowanych paliw. Stopniowe wycofywanie dofinansowania zapewniłoby bardziej efektywne sygnały cenowe dla konsumentów oraz zachęciłoby do większej oszczędności energii i podjęcia środków mających na celu poprawę efektywności energetycznej. Wpływ stopniowego wycofywania dofinansowania na gospodarstwa domowe o niższych dochodach mógłby zostać zrównoważony poprzez systemy płatności bezpośrednich lub inne środki przy niższych ogólnych kosztach dla gospodarki.

Rysunek 4.13 ► Globalne wydatki na energię według paliw w scenariuszu NZE



Całkowite wydatki na energię, głównie energię elektryczną, wzrosną do 2050 r. o 75%

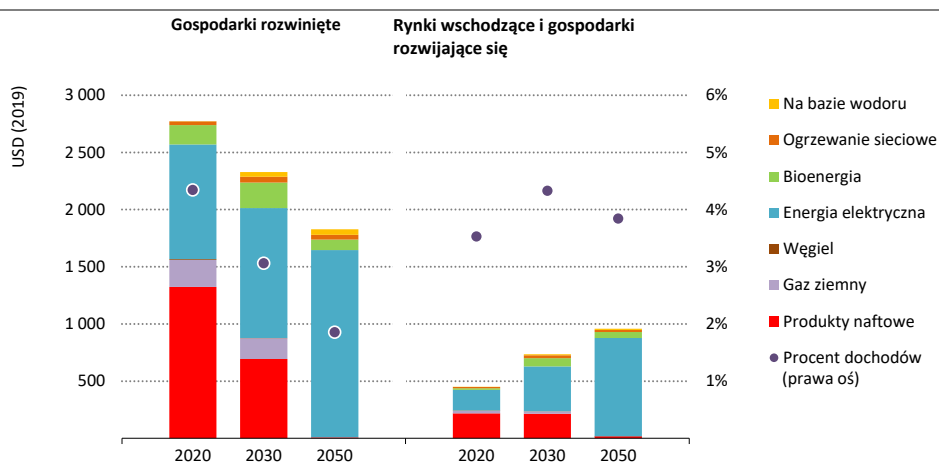
Wyjaśnienie: Inne = paliwa na bazie wodoru i paliwa syntetyczne oraz ogrzewanie komunalne.

Transformacja globalnego systemu energetycznego w scenariuszu NZE doprowadzi do poważnych zmian w strukturze wydatków na energię. Wydatki na energię elektryczną w wysokości 2,7 bln USD w 2020 r. (45% całkowitych wydatków na energię) po raz pierwszy przekroczyły wydatki na produkty ropopochodne, a w 2050 r. będą wynosić ponad 8,5 bln USD (80% całkowitych wydatków na energię) (Rysunek 4.13). Detaliczne ceny energii elektrycznej wzrosną średnio o 50%, co przyczyni się do ogólnego wzrostu. Wydatki na ropę naftową, które przez dziesięciolecia dominowały w ogólnych wydatkach na energię, w latach 2020. ulegną długotrwałemu spadkowi, a ich udział w wydatkach spadnie z 40% w 2020 r. do zaledwie 5% w 2050 r. Wydatki na gaz ziemny i węgiel również spadną w perspektywie długoterminowej, co będzie równoważone przez wyższe wydatki na paliwa niskoemisyjne. Wydatki na bioenergię osiągną do 2040 r. poziom około 900 mld USD rocznie, natomiast na przodowanie wyjdą inne paliwa niskoemisyjne, w tym produkty oparte na wodorze, których rynek do 2050 r. osiągnie wartość około 600 mld USD rocznie.

Wydatki gospodarstw domowych na energię

W scenariuszu NZE bezpośrednie wydatki gospodarstw domowych na energię, w tym na ogrzewanie, chłodzenie, elektryczność i paliwo do samochodów osobowych, spadną jako udział w dochodzie rozporządzalnym, choć różnice pomiędzy krajami będą duże (Rysunek 4.14).

Rysunek 4.14 ▶ Średni roczny rachunek za energię w gospodarstwie domowym w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Odsetek dochodu rozporządzalnego gospodarstw domowych przeznaczany na energię będzie stabilny na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się, natomiast znacznie spadnie w gospodarkach rozwiniętych

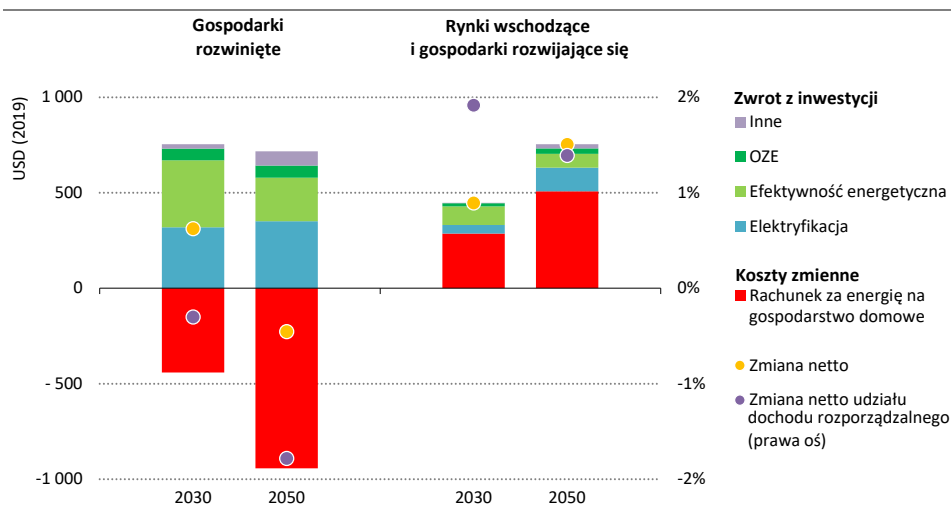
Wyjaśnienie: Paliwa na bazie wodoru obejmują wodór, amoniak i paliwa syntetyczne.

W gospodarkach rozwiniętych średni roczny rachunek zmniejszy się z około 2 800 USD w 2020 r. do 2 300 USD w 2030 r., dzięki silnemu naciskowi na efektywność energetyczną i opłacalną elektryfikację. W 2020 r. wydatki na produkty naftowe stanowiły blisko połowę rachunków za energię w gospodarstwach domowych, natomiast ich udział spadnie do 30% w 2030 r. i niemal do zera w 2050 r. ze względu na szybkie przejście na pojazdy elektryczne i presję na spadek cen ropy. Rachunki za gaz ziemny, które dziś stanowią prawie 10% wszystkich wydatków, w 2050 r. również spadną niemal do zera dzięki elektryfikacji ogrzewania i gotowania. Udział energii elektrycznej w rachunkach za paliwo wzrośnie z około 35% w 2020 r. do 90% w 2050 r., co zwiększy wrażliwość gospodarstw domowych na ceny i zużycie energii elektrycznej. Rosnące dochody oznaczają, że wydatki gospodarstw domowych na energię jako część dochodu rozporządzalnego spadną z 4% w 2020 r. do 2% w 2050 r.

Na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się nastąpi ogromny wzrost zapotrzebowania na nowoczesne usługi energetyczne, związany z powiększaniem się populacji, wzrostem gospodarczym, rosnącymi dochodami oraz powszechnym dostępem do energii elektrycznej i możliwości czystego gotowania. Podobnie jak w gospodarkach rozwiniętych, w 2050 r. zdecydowana większość rachunków za energię stanowić będą wydatki na energię elektryczną. Stosowanie bardziej efektywnych urządzeń i sprzętu ograniczy częściowo wzrost popytu, ale pomimo tego w scenariuszu NZE rachunki gospodarstw domowych wzrosną o ponad 60% do 2030 r. i ponad dwukrotnie do 2050 r.

Jednak jako odsetek dochodu rozporządzalnego, rachunki na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się utrzymają się na poziomie około 4%, a zwiększone zużycie energii przyniesie duże korzyści społeczne i gospodarcze.

Rysunek 4.15 ► Zmiana wydatków gospodarstw domowych na energię plus inwestycje związane z energią w scenariuszu NZE w stosunku do 2020 r.



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

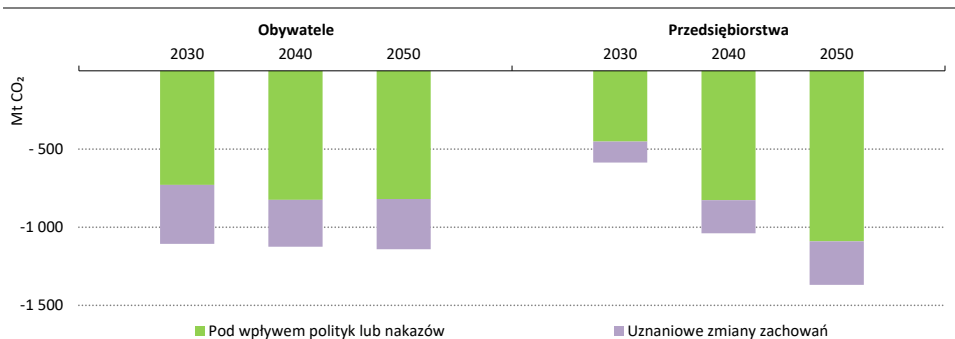
Całkowite wydatki gospodarstw domowych na energię wzrosną nieznacznie na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się, pozostawiając ponad 90% dodatkowego dochodu dostępnego do przeznaczenia na inne cele

Biorąc pod uwagę dodatkowe inwestycje w urządzenia zużywające energię elektryczną, takie jak wydajne urządzenia i pojazdy elektryczne, w scenariuszu NZE wydatki na energię i związane z nią inwestycje będą w 2050 r. na świecie o 1,30 USD wyższe dziennie na gospodarstwo domowe. Ten niewielki wzrost oznacza, że w 2050 r. wydatki na energię będą stanowić mniejszą część dochodu rozporządzalnego niż obecnie, choć sytuacja będzie różna w różnych krajach. W gospodarkach rozwiniętych dodatkowe inwestycje w elektryfikację, efektywność energetyczną i energię odnawialną będą kosztować około 750 USD na gospodarstwo domowe do 2030 r. i 720 USD w roku 2050, co będzie w pełni rekompensowane przez obniżenie wysokości rachunków za energię (Rysunek 4.15). Na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się, rosnący miks usług energetycznych oznacza zwiększone zużycie energii oraz wzrost łącznych wydatków gospodarstw domowych związanych z energią. Dodatkowe inwestycje złagodzą zmiany w rachunkach za energię, w wyniku czego całkowite wydatki związane z energią będą pochłaniać o 2 punkty procentowe więcej dochodu rozporządzalnego gospodarstw domowych w 2030 r. i o 1 punkt procentowy więcej w 2050 r. niż obecnie.

4.4.3 Zmiany behawioralne

Zmiany zachowań odgrywają ważną rolę w ograniczaniu zapotrzebowania na energię i emisji w scenariuszu NZE, zwłaszcza w sektorach, w których techniczne możliwości redukcji emisji w 2050 r. będą ograniczone. Chociaż to ludzie i firmy zmieniają swoje zachowania, zmiany te są w większości przypadków możliwe dzięki polityce i inwestycjom rządów, a w niektórych przypadkach są wymagane przez prawo lub regulacje. Pandemia COVID-19 zwiększyła ogólną świadomość potencjalnej skuteczności zmian w zachowaniu, takich jak noszenie masek oraz praca i nauka w domu. Kryzys ten pokazał, że ludzie mogą dokonywać zmian zachowań w znacznym tempie i na znaczną skalę, jeśli rozumieją, że zmiany te są uzasadnione, a także że rządy muszą przekonująco wyjaśniać i zapewniać jasne wytyczne dotyczące tego, jakie zmiany są potrzebne i dlaczego.

Rysunek 4.16 ▶ Redukcje emisji wynikające z wymuszonych przez politykę i uznaniowych zmian zachowań ludzi i przedsiębiorstw w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Trzy czwarte emisji zaoszczędzonych dzięki zmianom zachowań może być bezpośrednio uzależnione od polityk rządów lub przez nie nakazane

Około trzy czwarte emisji zaoszczędzonych dzięki zmianom zachowań w latach 2020-2050 w scenariuszu NZE może być bezpośrednio uwarunkowane przez polityki rządu lub wynikać z wprowadzonych nakazów (Rysunek 4.16). Obejmują one środki łagodzące, takie jak stopniowe wycofywanie samochodów emitujących zanieczyszczenia z dużych miast oraz obniżenie maksymalnej dopuszczalnej prędkości na autostradach. Pozostała jedna czwarta obejmuje bardziej uznaniowe zmiany zachowań, takie jak ograniczenie marnotrawstwa energii w domach i biurach, choć nawet tego rodzaju zmiany można promować poprzez kampanie uświadamiające i inne działania. Około 10% ograniczeń emisji, na które polityki rządowe mają bezpośredni wpływ lub które wynikają z wprowadzonych nakazów, wymagałoby nowych lub przekierowanych inwestycji w infrastrukturę. Na przykład rezygnacja zgodnie ze scenariuszem NZE z lotów regionalnych na rzecz przejazdów szybką koleją wymagałaby wybudowania około 170 000 km nowych torów na całym świecie do 2050 r. (trzykrotny wzrost w stosunku do poziomu z 2020 r.).

W scenariuszu NZE zmiany zachowań ludzi i przedsiębiorstw odgrywają mniej więcej taką samą rolę. Większość zmian w transporcie drogowym i oszczędzaniu energii w domach zależy od ludzi, natomiast sektor prywatny odgrywa główną rolę w zmniejszaniu zapotrzebowania na energię w budynkach komercyjnych i w dążeniu do efektywnego wykorzystania materiałów w produkcji. Przedsiębiorstwa mogą również wpływać na zmiany zachowań w sposób pośredni, np. poprzez promowanie korzystania z transportu publicznego przez pracowników dojeżdżających do pracy lub zachęcanie do pracy w domu. Jednak proste rozróżnienie ról ludzi i przedsiębiorstw maskuje złożoną dynamikę: ostatecznie to ludzie jako konsumenci towarów i usług związanych z energią kształtują strategię przedsiębiorstw, ale jednocześnie przedsiębiorstwa robią wiele, aby wpływać na konsumentów i generować popyt poprzez marketing i reklamę. W scenariuszu NZE konsumenci i przedsiębiorstwa wspólnie będą wprowadzać zmiany zachowań, a rządy będą wyznaczać kierunek tych zmian i ułatwiać je poprzez skuteczne i trwałe wsparcie polityczne.

Zmiany zachowań w scenariuszu NZE zachodzić będą w różnym stopniu w różnych regionach i będą odzwierciedlać szereg ograniczeń geograficznych i infrastrukturalnych, jak również istniejące normy zachowań i preferencje kulturowe. W krajach o niskim wskaźniku posiadania samochodów lub zapotrzebowaniu na usługi energetyczne w budynkach, wiele zmian zachowań przewidzianych w scenariuszu NZE dla zaawansowanych gospodarek nie byłoby istotnych lub właściwych. W rezultacie około połowa oszczędności emisji wynikających ze zmian zachowań przypada na rynki wschodzące i gospodarki rozwijające się, mimo że około 95% wzrostu aktywności w budynkach i transporcie drogowym w latach 2020-2050 wystąpi właśnie w tych krajach. Niemniej jednak na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się istnieją znaczne możliwości w zakresie efektywnego wykorzystania materiałów i projektowania urbanistycznego, które pozwolą na oddzielenie wzrostu dobrobytu gospodarczego i usług energetycznych od wzrostu emisji. Na przykład około 85% redukcji emisji CO₂ z produkcji cementu i stali w 2050 r. wynikać będzie z poprawy efektywności wykorzystania materiałów na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się.

Istotne dla zmian zachowań w scenariuszu NZE są miasta. Projektowanie urbanistyczne może zmniejszyć ślad węglowy przeciętnego mieszkańca miasta nawet o 60% poprzez kształtowanie wyborów dotyczących stylu życia i wpływanie na codzienne zachowania. Na przykład miasta o zwartej zabudowie i skoncentrowanych udogodnieniach mogą skrócić średnią długość przejazdu; cyfryzacja może pomóc współdzielonym prywatnym pojazdom stać się rzeczywistą opcją, aby zaspokoić znaczną część wzrostu popytu na usługi; a zielona infrastruktura miejska może zmniejszyć zapotrzebowanie na chłodzenie (Feyisa, Dons i Meilby, 2014).

4.5 Rządy

4.5.1 Bezpieczeństwo energetyczne

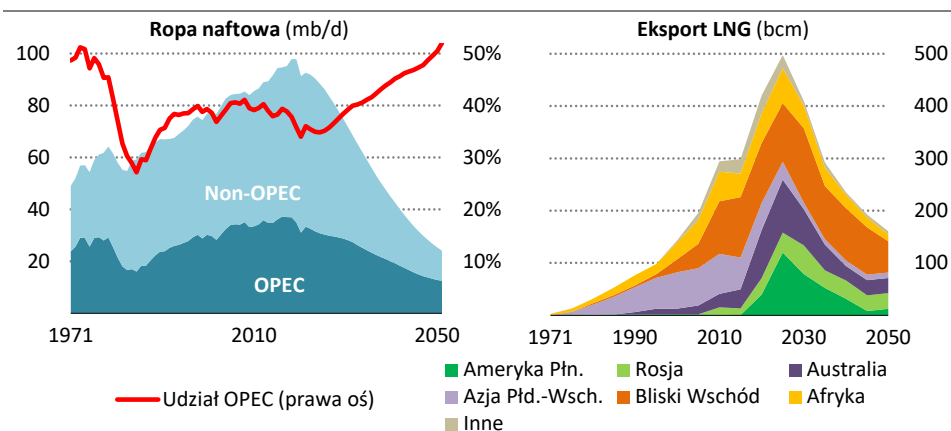
Bezpieczeństwo energetyczne jest istotną kwestią dla rządów i społeczeństw, którym rządy te służą, a droga do zerowych emisji netto musi je uwzględniać. Obawy o bezpieczeństwo energetyczne tradycyjnie kojarzone są z dostawami ropy naftowej i gazu ziemnego. Spadek zapotrzebowania na ropę i gaz oraz większa różnorodność źródeł energii wykorzystywanych w

scenariuszu NZE mogą zmniejszyć niektóre zagrożenia, ale nie mogą ich całkowicie wyeliminować. Pojawią się również nowe potencjalne słabe punkty związane z koniecznością utrzymania niezawodnych, elastycznych i bezpiecznych systemów elektroenergetycznych oraz ze wzrostem popytu na surowce mineralne na potrzeby czystych technologii energetycznych. Poprawa efektywności energetycznej pozostaje głównym środkiem zwiększania bezpieczeństwa energetycznego – nawet przy szybkim wzroście produkcji energii elektrycznej o niskiej emisji, najbezpieczniejsze dostawy energii to te, które nie są potrzebne.

Bezpieczeństwo ropy naftowej i gazu ziemnego

W scenariuszu NZE nie są potrzebne nowe złoża ropy naftowej i gazu ziemnego poza tymi, które już zostały zatwierdzone do eksploatacji, a ich dostawy stają się coraz bardziej skoncentrowane w rękach niewielkiej liczby tanich producentów. W przypadku ropy naftowej, udział OPEC w światowej podaży ropy wzrośnie z około 37% w ostatnich latach do 52% w 2050 r., czyli do poziomu wyższego niż kiedykolwiek w historii rynków ropy naftowej (Rysunek 4.17). W przypadku gazu ziemnego wielkość międzyregionalnego handlu skroplonym gazem ziemnym (LNG) wzrośnie z poziomu 420 mld m³ w 2020 r. w ciągu najbliższych pięciu lat, ale następnie spadnie do około 160 mld m³ w 2050 r. Prawie cały eksport w 2050 r. pochodzić będzie od producentów o najniższych kosztach i najniższych emisjach. Oznacza to, że znaczenie zapewnienia odpowiednich dostaw ropy naftowej i gazu ziemnego dla sprawnego funkcjonowania światowego systemu energetycznego będzie w 2050 r. ilościowo niższe niż obecnie, ale nie oznacza to automatycznie mniejszego ryzyka niedoboru dostaw lub nagłego wzrostu cen, a niedobór lub nagły wzrost cen nadal będzie mieć poważne reperkusje dla wielu sektorów.

Rysunek 4.17 ► Globalna podaż ropy naftowej i eksport LNG według regionów w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Większa zależność od OPEC i innych gospodarek producentów, które poniosą negatywne konsekwencje spadku dochodów z ropy i gazu, może stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa dostaw w krajach zużywających ropę naftową i gaz ziemny

Nawet jeśli ramy czasowe i cele polityk redukcji emisji są jasne, zmiany przewidziane w scenariuszu NZE mają jednoznaczne konsekwencje zarówno dla producentów, jak i konsumentów. W wielu gospodarkach produkujących ropę i gaz dochody z tego tytułu spadną do najniższych poziomów w historii (zob. punkt 4.2.2). Nawet jeśli ci producenci zwiększą swój udział w rynku oraz zdywersyfikują swoje gospodarki i źródła dochodów podatkowych, prawdopodobnie będą mieć trudności z finansowaniem podstawowych wydatków na obecnym poziomie. Może to wywołać efekt domina w zakresie stabilności społecznej, a to z kolei mogłoby potencjalnie zagrozić sprawnym dostawom ropy i gazu do krajów będących konsumentami tych surowców. Działania krajów producentów mające na celu zwiększenie udziału w rynku lub niepowodzenie w utrzymaniu działalności poszukiwawczo-wydobywczej, przy jednoczesnym radzeniu sobie z ogromnymi obciążeniami, jakie stanowiłoby to dla ich budżetów państwowych, mogłyby prowadzić do zaburzeń i niestabilności na rynkach, znacznie komplikując zadanie, przed jakim stoją decydenci polityczni.

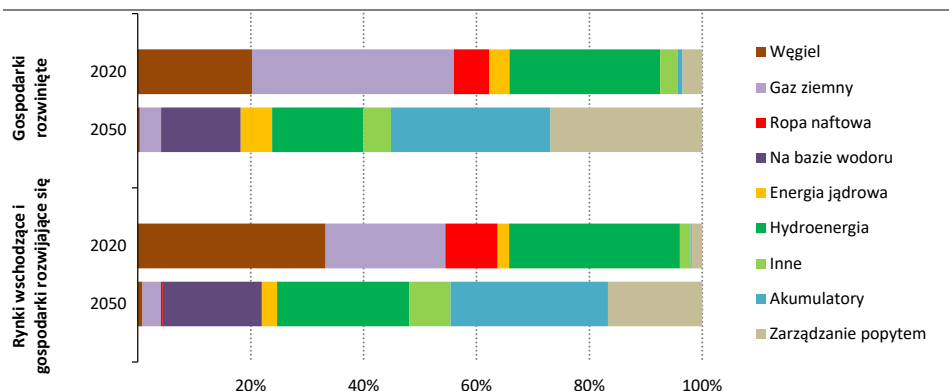
Bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej

Szybka elektryfikacja wszystkich sektorów przewidziana w scenariuszu NZE i związany z nią wzrost udziału energii elektrycznej w całkowitym zużyciu końcowym z 20% w 2020 r. do prawie 50% w 2050 r. sprawiają, że energia elektryczna stanie się w jeszcze większym stopniu niż dotychczas kluczowym elementem bezpieczeństwa energetycznego na świecie (IEA, 2020h). Większa zależność od energii elektrycznej ma zarówno pozytywne, jak i negatywne skutki dla ogólnego bezpieczeństwa energetycznego. Jedną z korzyści dla krajów importujących energię będzie to, że staną się one bardziej samowystarczalne, ponieważ znacznie większa część dostaw energii elektrycznej w scenariuszu NZE opierać się będzie na źródłach krajowych niż ma to miejsce w przypadku innych paliw. Większe znaczenie energii elektrycznej oznacza jednak, że wszelkie zakłócenia w systemie elektroenergetycznym będą mieć poważniejsze konsekwencje. Infrastruktura elektroenergetyczna jest często bardziej podatna na zakłócenia fizyczne, takie jak ekstremalne zjawiska pogodowe, niż rurociągi i podziemne magazyny, a zmiany klimatyczne prawdopodobnie będą wywierać coraz większą presję na systemy elektroenergetyczne, na przykład poprzez częstsze susze, które mogą zmniejszyć dostępność wody na potrzeby hydroenergetyki i chłodzenia w elektrowniach ciepłych. Należy zwiększyć odporność systemów elektroenergetycznych w celu złagodzenia tych zagrożeń i utrzymania bezpieczeństwa elektroenergetycznego, w tym poprzez bardziej solidne planowanie awaryjne, z wykorzystaniem rozwiązań opartych na technologiach cyfrowych i fizycznym wzmocnieniu systemu (IEA, 2021b).

Bezpieczeństwo cybernetyczne może stanowić jeszcze większe zagrożenie dla bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej w miarę wprowadzania bardziej cyfrowych systemów monitorowania i kontroli w coraz większej liczbie elektrowni, aktywów sieci elektroenergetycznej i obiektów magazynowych. Decydenci polityczni mają do odegrania kluczową rolę w zapewnieniu zwiększenia odporności cybernetycznej systemu elektroenergetycznego, a dążyć do osiągnięcia tego celu mogą na kilka sposobów (IEA, 2021c).

Utrzymanie bezpieczeństwa energetycznego wymaga również szeregu środków mających na celu zapewnienie nieprzerwanej elastyczności, adekwatności i niezawodności. Zwiększona elastyczność systemu elektroenergetycznego będzie mieć szczególne znaczenie wraz ze wzrostem udziału zmiennych źródeł odnawialnych w miksie energii wytwarzanej. W konsekwencji elastyczność systemu elektroenergetycznego w scenariuszu NZE wzrośnie globalnie czterokrotnie, przy jednoczesnym ponad dwuipółkrotnym wzroście dostaw energii elektrycznej.⁹ Do dopasowania podaży i popytu przez cały rok, przy zmiennych warunkach pogodowych i poziomach zapotrzebowania, będzie wykorzystywany zestaw źródeł elastyczności – w tym elektrowni, magazynów energii i reakcji na zapotrzebowanie wspieranej przez sieci energetyczne. W scenariuszu NZE nastąpi znacząca zmiana polegająca na odejściu od wykorzystywania elektrowni węglowych i gazowych w celu zapewnienia elastyczności na rzecz wykorzystania odnawialnych źródeł energii, wodoru, magazynowania energii w akumulatorach oraz reakcji na zapotrzebowanie (Rysunek 4.18.).

Rysunek 4.18 ► Elastyczność systemu elektroenergetycznego według źródeł w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Aby zaspokoić czterokrotnie większe potrzeby w zakresie elastyczności w ujęciu godzinowym, głównymi źródłami elastyczności staną się akumulatory i reakcja na zapotrzebowanie

Również zapotrzebowanie na energię elektryczną stanie się znacznie bardziej elastyczne w wyniku zastosowania środków reagowania na zapotrzebowanie, np. w celu przesunięcia zużycia na okresy, kiedy energia odnawialna jest dostępna w dużych ilościach. Konwencjonalne źródła reagowania na zapotrzebowanie, takie jak moderowanie działań przemysłu, pozostaną ważne, ale nowymi wartościowymi środkami uzupełniającymi staną się nowe obszary reagowania na zapotrzebowanie, takie jak inteligentne ładowanie

⁹ Elastyczność systemu elektroenergetycznego jest tu określana ilościowo na podstawie potrzeb w zakresie zwiększania dostaw w kolejnych godzinach, co jest tylko jednym z aspektów elastyczności, która obejmuje również działania prowadzone w znacznie krótszych skalach czasowych, mające na celu utrzymanie częstotliwości i innych usług pomocniczych.

pojazdów elektrycznych.¹⁰ Wraz z rozwojem floty pojazdów elektrycznych w scenariuszu NZE, pojazdy te będą zapewniać znaczną część całkowitej elastyczności systemu elektroenergetycznego. Chociaż technologia ta już istnieje, wdrażanie inteligentnych systemów ładowania odbywało się do tej pory powoli z powodu barier instytucjonalnych i regulacyjnych; w scenariuszu NZE przeszkody te zostaną pokonywane. Wdrażane są również środki mające na celu zagwarantowanie tego, że cyfryzacja pobierania opłat i innych źródeł elastyczności nie zagrazi bezpieczeństwu cybernetycznemu oraz że uwzględnione zostaną potencjalne problemy związane z akceptacją społeczną.

Również magazynowanie energii będzie odgrywać ważną rolę w zapewnieniu elastyczności w scenariuszu NZE. Wdrażanie systemów magazynowania energii w akumulatorach zaczyna już nabierać tempa i ułatwiać zarządzanie krótkotrwałymi potrzebami w zakresie elastyczności, ale przewidziany w scenariuszu NZE ogromny wzrost magazynowania, które w 2050 r. wyniesie 3 100 GW (średnio wystarczające na pokrycie zapotrzebowania przez cztery godziny), wymaga pokonania obecnych barier regulacyjnych i rynkowych. Szczytowo-pompowe elektrownie wodne stanowią atrakcyjny sposób zapewnienia elastyczności przez kilka godzin i dni, natomiast wodór może potencjalnie odegrać ważną rolę w długoterminowym magazynowaniu sezonowym, ponieważ może być przechowywany w przekształconych magazynach gazu, które mają o kilka rzędów wielkości większą pojemność niż projekty dotyczące magazynowania w akumulatorach.

Moc dyspozycyjna będzie niezbędna dla bezpiecznego przekształcania systemów elektroenergetycznych, a w scenariuszu NZE będzie ona pochodzić w coraz większym stopniu ze źródeł niskoemisyjnych. Energia wodna zapewnia obecnie znaczną część elastyczności w wielu systemach elektroenergetycznych i będzie ją nadal zapewniać w przyszłości, ze szczególnym naciskiem na rozbudowę elektrowni szczytowo-pompowych. Energia jądrowa i elektrownie geotermalne, choć zaprojektowane dla obciążenia podstawowego, również zapewnią pewien stopień elastyczności w scenariuszu NZE, jednak istnieją ograniczenia co do zakresu rozbudowy tych źródeł. Pozostawia to ważną rolę do odegrania przez elektrownie ciepłe wyposażone w systemy wychwytywania dwutlenku węgla lub wykorzystujących paliwa niskoemisyjne. Na przykład stosowanie zrównoważonej biomasy lub niskoemisyjnego amoniaku w istniejących elektrowniach węglowych umożliwi dalszy udział tych obiektów w zapewnianiu elastyczności i wystarczających mocy wytwórczych, przy jednoczesnym ograniczeniu emisji CO₂. Konieczne będą również dodatkowe środki w celu utrzymania stabilności systemu elektroenergetycznego (Ramka 4.1).

¹⁰ Inteligentne ładowarki udostępniają dane w czasie rzeczywistym scentralizowanej platformie, aby umożliwić operatorom systemu optymalizację profili ładowania w oparciu o to, ile energii potrzebuje pojazd w określonym przedziale czasu, ile energii dostępne, cenę hurtową energii elektrycznej, przeciążenie sieci i inne parametry.

Ramka 4.1 ► Stabilność systemu elektroenergetycznego przy dużym udziale zmiennych źródeł odnawialnych

Stabilność jest kluczową cechą bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej, pozwalającą systemom utrzymać równowagę i wytrzymać zakłócenia, takie jak nagłe przerwy w pracy mocy wytwórczych lub sieci. W przeszłości kluczową rolę w zapewnieniu stabilności systemu elektroenergetycznego odgrywały moce konwencjonalne, takie jak elektrownie jądrowe, wodne i wykorzystujące paliwa kopalne, zapewniając bezwładność maszyn wirujących, które umożliwiają natychmiastowe przekształcenie zmagazynowanej energii kinetycznej w energię elektryczną w przypadku zakłóceń w systemie, oraz generując sygnał napięciowy, który pomaga wszystkim wytwórcom zachować synchronizację.

Z kolei nowsze technologie, takie jak fotowoltaika, wiatr i akumulatory są podłączane do systemu za pomocą konwerterów. Generalnie nie przyczyniają się one do bezwładności systemu i są skonfigurowane jako urządzenia „podążające za siecią” i synchronizujące się z wytwarzaniem konwencjonalnym. Utrzymanie stabilności systemu będzie wymagać nowego podejścia, ze względu na znaczny wzrost udziału w systemach elektroenergetycznych zasobów opartych na konwerterach, a w szczególności zmiennych źródeł odnawialnych.

Istnieje coraz większy zasób wiedzy i badań dotyczących stabilności w systemach z dużym udziałem zmiennych źródeł odnawialnych. Na przykład w niedawnym wspólnym opracowaniu IEA i RTE, operatora systemu przesyłowego we Francji, przeanalizowano warunki, w których technicznie wykonalna byłaby integracja dużych udziałów zmiennych źródeł energii odnawialnej we Francji (IEA, 2021d). W oparciu o wyniki tego badania stwierdzono, że:

- Jedną z możliwości zapewnienia stabilności systemu energetycznego o zerowych emisjach netto jest zapewnienie wytwarzania minimalnej ilości energii konwencjonalnej w technologiach niskoemisyjnych w godzinach wysokiej produkcji zmiennej energii odnawialnej. Takie podejście do utrzymania stabilności jest realizowane kosztem dużego ograniczania dostaw energii fotowoltaicznej i wiatrowej o wysokim udziale.
- Zaktualizowane kodeksy sieciowe mogą być wykorzystane do zapewniania, w mocy ze zmiennych odnawialnych źródeł energii i akumulatorów dla zapewnienia usługi szybkiej odpowiedzi w postaci częstotliwości, co może pomóc w zmniejszeniu ilości energii konwencjonalnej wytwarzanej w celu zapewnienia stabilności.
- Kondensatory synchroniczne są w stanie zapewnić bezwładność bez wytwarzania energii elektrycznej. Technologia została już przetestowana w skali kilku gigawatów w Danii oraz w Południowej Australii, jednak konieczne jest uzyskanie doświadczenia na większą skalę.

- Konwertery sieciowe mogą umożliwiać zmiennym źródłom odnawialnym i akumulatorom generowanie sygnału napięciowego, jednak doświadczenia związane z tym rozwiązaniem muszą wykraczać poza mikrosieci i małe wyspy i obejmować duże połączone systemy.

Projekty demonstracyjne, konsultacje z zainteresowanymi podmiotami i współpraca międzynarodowa będą mieć zasadnicze znaczenie dla pełnego zrozumienia zalet każdego z tych czterech podejść oraz zakresu zestawu opcji, które w najbardziej efektywny kosztowo sposób pozwolą na osiągnięcie zerowych emisji netto przy jednoczesnym zachowaniu bezpieczeństwa energetycznego.

Sieci elektroenergetyczne wspierają i umożliwiają wykorzystanie wszystkich źródeł elastyczności, równoważąc popyt i podaż na dużych obszarach. Dokonane w odpowiednim czasie inwestycje w sieci w celu zminimalizowania ograniczeń przesyłowych i zwiększenia obszarów, na których podaż i popyt są zrównoważone, będą mieć zasadnicze znaczenie dla jak najlepszego wykorzystania projektów fotowoltaicznych i wiatrowych oraz zapewnienia przystępnych cenowo i niezawodnych dostaw energii elektrycznej. Rozbudowa zdolności przesyłu na dużych odległościach również stanowi kluczowy wkład realizację scenariusza NZE, ponieważ brak dostępnych terenów w pobliżu centrów popytu oraz inne czynniki powodują, że nowe źródła wytwarzania energii są często lokalizowane na odległych obszarach. Ważne jest, aby nowe systemy przesyłowe były elastyczne, budowane z myślą o zmiennym, dwukierunkowym działaniu w celu maksymalnego wykorzystania dostępnych źródeł oraz aby rozwiązania regulacyjne i rynkowe wspierały elastyczne połączenia między systemami. Kluczowa wartość połączeń międzysystemowych wynika z uzupełniających się wzorców zapotrzebowania na energię elektryczną i wiatru: moc fotowoltaiczna jest bardziej wysoce skorelowana niż wiatr na dużych obszarach.

W scenariuszu NZE dostrzeżono znaczny wzrost zapotrzebowania na minerały krytyczne, takie jak miedź, lit, nikiel, kobalt i pierwiastki ziem rzadkich, które są niezbędne dla wielu technologii czystej energii. Istnieje kilka potencjalnych słabych punktów, które mogą ograniczać odpowiednią podaż tych minerałów i prowadzić do zmienności cen (IEA, 2021a). Obecnie produkcja i przetwórstwo wielu minerałów są silnie skoncentrowane w niewielkiej liczbie krajów, co sprawia, że dostawy są narażone na niestabilność polityczną, ryzyko geopolityczne i ewentualne ograniczenia eksportu. W wielu przypadkach istnieją również obawy dotyczące zmian w użytkowaniu gruntów, rywalizacji o ograniczone zasoby wodne, korupcji i niewłaściwego wykorzystania zasobów państwowych, ofiar śmiertelnych i obrażeń wśród pracowników oraz łamania praw człowieka, w tym wykorzystywania pracy dzieci. Nowe projekty dotyczące surowców mineralnych o kluczowym znaczeniu mogą mieć długi okres realizacji, dlatego szybki wzrost popytu przewidziany w scenariuszu NZE może doprowadzić do braku zgrania czasowego między podażą a popytem. Międzynarodowy system handlu i inwestycji ma kluczowe znaczenie dla utrzymania niezawodnych dostaw surowców mineralnych, ale zapewnienie stosowania rygorystycznych przepisów środowiskowych i społecznych wymagać będzie wsparcia politycznego i koordynacji międzynarodowej.

4.5.2 Infrastruktura

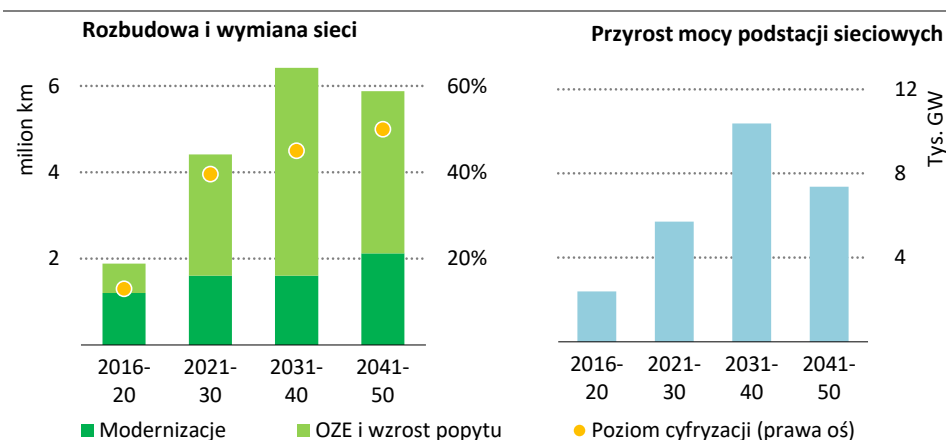
Osiągnięcie zerowych emisji netto będzie wymagać ogromnych ilości nowej infrastruktury i wielu modyfikacji istniejących obiektów. W scenariuszu NZE, infrastruktura energetyczna podlegać będzie transformacji, ponieważ wszystkie kraje i regiony przejdą od systemów wspierających wykorzystanie paliw kopalnych i dystrybucję energii elektrycznej wytwarzanej w sposób konwencjonalny do systemów opartych w dużej mierze na odnawialnej energii elektrycznej i paliwach niskoemisyjnych. W nadchodzących dekadach na wielu rynkach wschodzących i w wielu gospodarkach rozwijających się konieczne będzie, niezależnie od rozwoju sytuacji, zapewnienie znacznej ilości infrastruktury, co stwarza możliwość wsparcia przejścia na gospodarkę o zerowych emisjach netto. We wszystkich krajach główną rolę w planowaniu, finansowaniu i regulowaniu rozwoju infrastruktury odgrywać będą rządy. Poniżej omówiono niektóre z głównych elementów infrastruktury: sieci elektroenergetyczne i ładowanie pojazdów elektrycznych, systemy rurociągów dla paliw niskoemisyjnych i CO₂ oraz infrastrukturę transportową.

Szybki wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną w scenariuszu NZE oraz przejście na energię odnawialną wymagać będą rozbudowy i modernizacji sieci elektroenergetycznych (Rysunek 4.19.). Wymagałoby to zdecydowanego odwrócenia odnotowanej ostatnio tendencji spadkowej w inwestycjach: niepowodzenie w osiągnięciu tego celu prawie na pewno uniemożliwi przejście na energię o zerowych emisjach netto. Projektowanie taryf i procedury wydawania zezwoleń również wymagają przeglądu w celu odzwierciedlenia fundamentalnych zmian w sposobie realizacji dostaw i wykorzystania energii elektrycznej. Najważniejsze kwestie obejmują:

- **Przesył na dużych odległościach.** W scenariuszu NZE większość wzrostu udziału energii odnawialnej pochodzi ze źródeł scentralizowanych. Jednak najlepsze zasoby energii słonecznej i wiatrowej znajdują się często w odległych regionach, co wymaga nowych połączeń przesyłowych. Ważną rolę w umożliwieniu przesyłu na dużych odległościach prawdopodobnie odegrają systemy o ultrawysokim napięciu prądu stałego.
- **Dystrybucja lokalna.** Poprawa efektywności energetycznej w gospodarstwach domowych i szersze wykorzystanie systemów fotowoltaicznych montowanych na dachach oznacza, że nadwyżki energii elektrycznej będą częściej dostępne, natomiast elektryczne pompy ciepła i punkty ładowania pojazdów elektrycznych w budynkach mieszkalnych będą wymagać większej dostępności energii elektrycznej. Wszystkie te zmiany wskazują na potrzebę znacznego zwiększenia przepustowości sieci dystrybucyjnej.
- **Stacje sieciowe.** Ogromna ekspansja fotowoltaiki i energii wiatrowej wymaga nowych stacji sieciowych: w scenariuszu NZE ich moc wzrośnie o ponad 57 000 GW do 2030 r., podwajając obecną moc w skali globalnej.
- **Ładowanie pojazdów elektrycznych.** Scenariusz NZE przewiduje powstanie dużych nowych publicznych sieci ładowania, w tym w zakładach pracy, na stacjach paliw przy autostradach i na osiedlach mieszkaniowych, których celem będzie popularyzacja pojazdów elektrycznych i umożliwienie jazdy na długich dystansach po autostradach.

- **Cyfryzacja sieci.** Wraz z dużym wzrostem wykorzystania podłączonych urządzeń, cyfryzacja aktywów sieciowych wspierać będzie bardziej elastyczne operacje sieciowe, lepsze zarządzanie zmiennymi źródłami odnawialnymi i bardziej efektywną reakcją na zapotrzebowanie.

Rysunek 4.19 ▶ Średni roczny wskaźnik rozbudowy i wymiany sieci elektroenergetycznej oraz zwiększania mocy podstacji elektroenergetycznych w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Czynnikiem sprzyjającym rozbudowie sieci i stacji elektroenergetycznych jest głównie masowe wdrażanie odnawialnych źródeł energii i elektryfikacja zastosowań końcowych, przy rosnącym udziale technologii cyfrowych w infrastrukturze

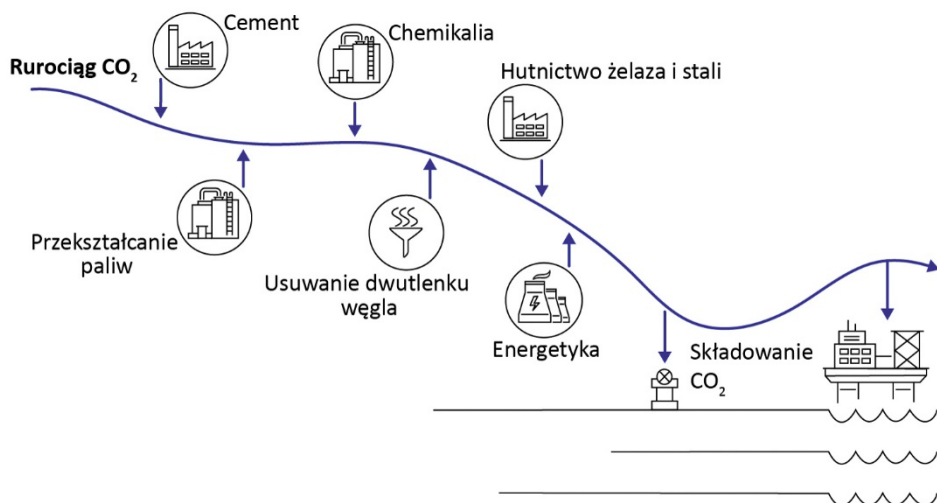
Wyjaśnienie: Przyjęto tutaj, że w przypadku stacji elektroenergetycznych moc czynna jest równa mocy pozornej.

W scenariuszu NZE kluczową rolę w przesyłach i dystrybucji energii w dalszym ciągu odgrywać będą rurociągi:

- Z uwagi na szybkie wyczerpywanie się paliw kopalnych, w scenariuszu NZE nie są potrzebne znaczące inwestycje w nowe rurociągi ropy naftowej i gazu ziemnego. Potrzebne są jednak inwestycje mające na celu połączenie produkcji niskoemisyjnych płynów i gazów z centrami ich zużycia oraz dostosowanie istniejących rurociągów i związanej z nimi infrastruktury dystrybucyjnej do wykorzystania tych paliw niskoemisyjnych. Niektóre paliwa niskoemisyjne, takie jak biometan i paliwa syntetyczne na bazie wodoru, umożliwiają wykorzystywanie istniejącej infrastruktury bez żadnych modyfikacji, ale czysty wodór wymaga modernizacji istniejących rurociągów. W scenariuszu NZE potrzebna będzie również nowa dedykowana infrastruktura wodorowa, na przykład do transportu wodoru produkowanego w odległych obszarach o doskonałych zasobach odnawialnych do centrów zapotrzebowania.

- Rozbudowa systemów CCUS w scenariuszu NZE wymagać będzie inwestycji w zdolności w zakresie transportu i składowania CO₂. Do 2050 r. na całym świecie będzie wychwytywanych 7,6 Gt CO₂, co wymagać będzie dużej ilości infrastruktury rurociągowej i żeglugowej łączącej obiekty, w których wychwytywany będzie CO₂ z miejscami jego składowania. Klastry przemysłowe, w tym porty, mogą w krótkim okresie zapewniać najlepsze możliwości budowy infrastruktury rurociągowej i wodorowej do przesyłu CO₂, ponieważ różne gałęzie przemysłu zlokalizowane w tych klastrach, korzystające z nowej infrastruktury, mogłyby wspólnie ponosić początkowe nakłady inwestycyjne (Rysunek 4.20).

Rysunek 4.20 ► Przykład wspólnego rurociągu CO₂ w klastrze przemysłowym



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Wdrażanie takich technologii jak CCUS i technologie wodorowe oraz budowa infrastruktury wspomagającej ich wdrażanie znacznie skorzystałyby z podejścia międzysektorowego w klastrach przemysłowych

Przekształcenie infrastruktury transportowej stanowi zarówno wyzwanie, jak i szansę. Wyzwanie z nim związane wynika z potencjalnego zwiększenia energochłonności i emisyjności wzrostu gospodarczego na etapie budowy infrastruktury.¹¹ Stal i cement to dwa główne składniki praktycznie wszystkich projektów infrastrukturalnych, ale należą one również do sektorów najtrudniejszych do dekarbonizacji. Z kolei szansa związana z przekształcaniem infrastruktury wynika z możliwości budowy w niektórych krajach infrastruktury od podstaw w sposób zgodny z celem, jakim są zerowe emisje netto. Kraje przechodzące obecnie szybką urbanizację mogą zaprojektować i ukierunkować rozwój nowej

¹¹ Modelowanie przeprowadzone na potrzeby scenariusza ZEN uwzględnia wzrost zużycia stali i cementu, który jest niezbędny do budowy dodatkowej infrastruktury transportowej (drogi, samochody osobowe i ciężarowe) oraz infrastruktury energetycznej, np. elektrowni i turbin wiatrowych.

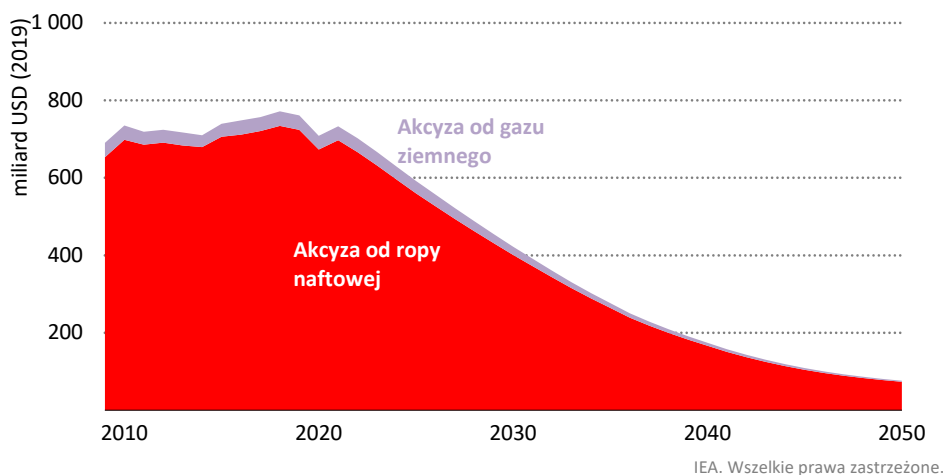
infrastruktury w sposób odpowiedni do większej gęstości zaludnienia w miastach i transportu zbiorowego o dużej przepustowości w połączeniu z ładowaniem pojazdów elektrycznych i systemami do obsługi paliw niskoemisyjnych.

Kolej ma do odegrania ważną rolę w rozwoju infrastruktury transportowej. Scenariusz NZE przewiduje zakrojone na szeroką skalę inwestycje we wszystkich regionach w szybkie pociągi, które zastąpią zarówno przejazdy samochodem na długich dystansach, jak i przewozy lotnicze na krótkich dystansach. We wszystkich regionach przewidziano również zakrojone na szeroką skalę inwestycje w tory, systemy sterowania, modernizację taboru i obiekty transportu kombinowanego w celu zwiększenia szybkości i elastyczności operacji logistycznych „just-in-time”, a tym samym wsparcia przesunięcia przewozów towarowych z transportu drogowego na kolejowy, zwłaszcza w przypadku przewozów kontenerowych.

4.5.3 Wpływy podatkowe z detalicznej sprzedaży energii

Gwałtowny spadek zużycia paliw kopalnych konieczny do osiągnięcia zerowych emisji netto spowoduje w wielu krajach utratę znacznych wpływów z podatków, ponieważ paliwa takie jak paliwa ropopochodne wykorzystywane w transporcie i gaz ziemny są często obłożone wysoką akcyzą lub innymi specjalnymi podatkami. W ostatnich latach podatki związane z energią stanowiły średnio około 4% łącznych wpływów podatkowych sektora publicznego w gospodarkach rozwiniętych oraz 3,5% na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się, ale w niektórych krajach stanowiły nawet 10% (OECD, 2020).

Rysunek 4.21 ► Globalne wpływy z podatków od sprzedaży detalicznej ropy naftowej i gazu ziemnego w scenariuszu NZE



Spadek wpływów podatkowych z tytułu sprzedaży detalicznej ropy i gazu

Wpływy podatkowe ze sprzedaży detalicznej ropy naftowej i gazu ziemnego spadną w scenariuszu NZE o blisko 90% w latach 2020-2050 (Rysunek 4.21). Aby to zrekompensować, rządy prawdopodobnie będą musiały polegać na pewnej kombinacji innych wpływów podatkowych i reform wydatków publicznych. Przydatne mogłyby być pewne środki podatkowe ukierunkowane na sektor energii. Jednakże wszelkie takie podatki musiałyby być starannie opracowane, aby zminimalizować ich wpływ na gospodarstwa domowe o niskich dochodach, ponieważ biedniejsze gospodarstwa domowe wydają większy odsetek swojego dochodu rozporządzalnego na energię elektryczną i ogrzewanie. Możliwości w zakresie podatków związanych z energią obejmują:

- **Ceny CO₂.** W scenariuszu NZE zostaną one wprowadzone we wszystkich regionach, aczkolwiek na różnych poziomach w poszczególnych krajach i sektorach, co zapewni dodatkowe źródła dochodów. Obniżenie akcyzy na ropę naftową i gaz ziemny będzie w ciągu najbliższych 15 lat z nawiązką kompensowane przez wyższe ceny CO₂ związane z tymi paliwami płacone przez użytkowników końcowych i inne sektory, ale i one ulegną obniżeniu w miarę jak światowy system energetyczny będzie zmierza w kierunku zerowych emisji netto.
- **Opłaty drogowe i opłaty zatorowe.** Przyniosłyby one dodatkową korzyść w postaci zniechęcenia do jazdy samochodem i zachęcenia do przesiadania się na inne, mniej emisyjne środki transportu.
- **Zwiększenie opodatkowania energii elektrycznej.** Wyższe podatki od całej sprzedaży energii elektrycznej mogłyby przynieść znaczne dochody, zwłaszcza że duże podwyżki cen często mają niewielki wpływ na zużycie. Mogłyby to jednak przynieść efekt przeciwny do zamierzonego, ponieważ zmniejszyłyby opłacalność zarówno pojazdów elektrycznych, jak i pomp ciepła, co mogłoby spowolnić ich wdrażanie, chociaż ryzyko to można byłoby złagodzić poprzez wprowadzenie cen CO₂.

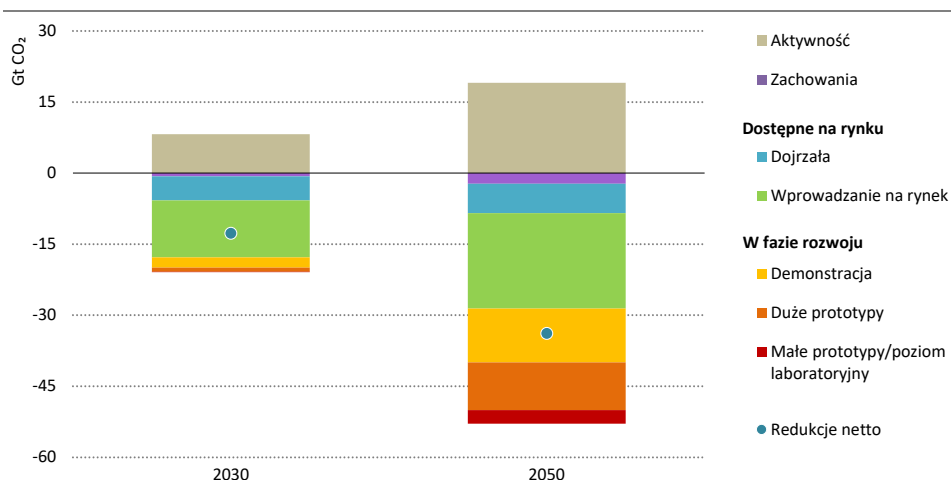
W większości krajów gaz ziemny jest obecnie opodatkowany niżej niż paliwa wykorzystywane w transporcie. Wprowadzenie i podniesienie cen CO₂ dla gazu ziemnego wykorzystywanego w budynkach, głównie do ogrzewania, przyspieszyłoby poprawę efektywności energetycznej i zwiększyło dochody państwa, chociaż należałoby zadbać o to, aby nie wpłynęło to w nieproporcjonalny sposób na gospodarstwa domowe o niskich dochodach. Opodatkowanie gazu ziemnego wykorzystywanego w przemyśle poprawiłoby konkurencyjność paliw i technologii o mniejszej emisji dwutlenku węgla, takich jak wodór, ale wiązałoby się z ryzykiem osłabienia międzynarodowej konkurencyjności sektorów energochłonnych i ucieczki emisji w przypadku braku skoordynowanych działań globalnych lub dostosowania podatków od emisji dwutlenku węgla na granicach.

4.5.4 Innowacje

Bez znacznego przyspieszenia innowacji w dziedzinie czystej energii osiągnięcie zerowego poziomu emisji netto do 2050 r. nie będzie możliwe. Technologie dostępne obecnie na rynku umożliwiają niemal pełne zakres redukcji emisji wymagany do 2030 r. w ramach scenariusza ZEN, dzięki czemu świat wejdzie na drogę do osiągnięcia zerowych emisji netto do 2050 r.

Osiągnięcie zerowego poziomu emisji netto będzie jednak wymagać powszechnego stosowania po 2030 r. technologii, które obecnie są jeszcze w fazie rozwoju. W 2050 r. prawie 50% redukcji emisji CO₂ w scenariuszu NZE zapewnią będą technologie znajdujące się obecnie na etapie demonstracji lub prototypu (Rysunek 4.22). Udział ten jest jeszcze wyższy w sektorach takich jak przemysł ciężki i transport na dużych odległościach. W obecnej dekadzie konieczne jest podjęcie znacznych wysiłków w obszarze innowacji, aby technologie niezbędne do osiągnięcia zerowych emisji netto jak najszybciej trafiły na rynki.

Rysunek 4.22 ▶ Zmiany globalnych emisji CO₂ według kategorii dojrzałości technologii w scenariuszu NZE

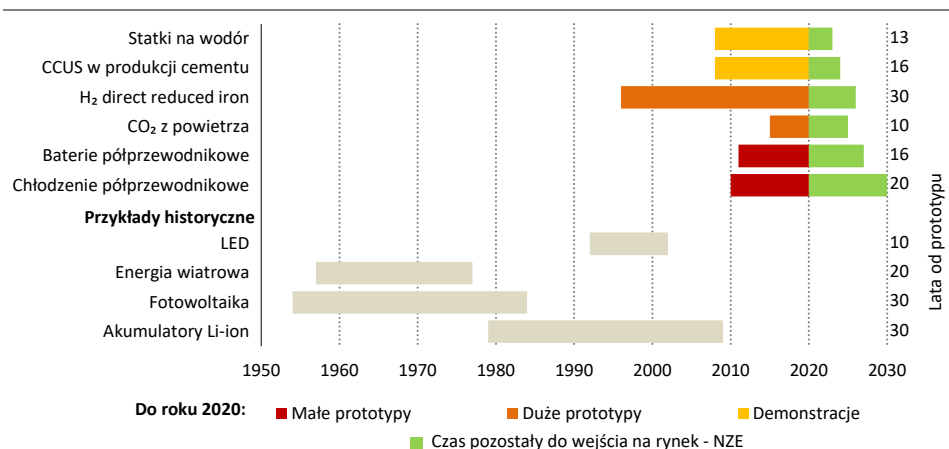


IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Redukcja emisji w 2030 r. zależy głównie od technologii dostępnych obecnie na rynku, natomiast technologie będące obecnie w fazie rozwoju odpowiadają za prawie połowę redukcji emisji w 2050 r.

Cykle innowacyjne dla technologii czystej energii na wczesnym etapie rozwoju będą w scenariuszu NZE znacznie krótsze niż w przeszłości, a większość technologii czystej energii, które nie zostały jeszcze zademonstrowane na skalę przemysłową, trafi na rynek najpóźniej do 2030 r. Oznacza to, że czas od powstania pierwszego prototypu do wprowadzenia na rynek będzie średnio o 20% krótszy niż w przypadku najszybszego rozwoju technologii energetycznych w przeszłości i o około 40% krótszy niż w przypadku fotowoltaiki (Rysunek 4.23). Technologie na etapie demonstracji, takie jak CCUS w produkcji cementu lub niskoemisyjne statki napędzane silnikami zasilanymi amoniakiem, zostaną wprowadzone na rynek w ciągu najbliższych trzech do czterech lat. Produkcja stali w oparciu o wodór, bezpośrednie wychwytywanie dwutlenku węgla (DAC) i inne technologie na etapie dużych prototypów trafią na rynek za około sześć lat, natomiast większość technologii na etapie małych prototypów – takie jak chłodzenie półprzewodnikowe bez czynnika chłodniczego czy akumulatory półprzewodnikowe – w ciągu najbliższych dziewięciu lat.

Rysunek 4.23 ▶ Czas od powstania pierwszego prototypu do wprowadzenia na rynek dla wybranych technologii w scenariuszu NZE i w przykładach historycznych



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Cykle rozwoju technologii zostaną skrócone o około 20% w stosunku do najszybszego rozwoju obserwowanego w przeszłości

Wyjaśnienie: H₂ = wodór; CCUS = wychwytywanie, wykorzystanie i składowanie dwutlenku węgla; LED = dioda elektroluminescencyjna; Li-ion = litowo-jonowe.

Źródła: Analiza IEA na podstawie Carbon Engineering, 2021; Greco, 2019; Tenova, 2018; Gross, 2018; European Cement Research Academy, 2012; Kamaya, 2011; Zemships, 2008.

Przyspieszenie o takiej skali jest zdecydowanie ambitnym zadaniem. Wymaga ono bardzo szybkiego zademonstrowania technologii, które nie są jeszcze dostępne na rynku, na dużą skalę w wielu konfiguracjach i w różnych kontekstach regionalnych. W większości przypadków w scenariuszu NZE demonstracje te są prowadzone równolegle. Stanowi to wyraźny kontrast z typową praktyką w zakresie rozwoju technologii: nauka jest zazwyczaj przekazywana w ramach kolejnych projektów demonstracyjnych w różnych kontekstach, aby zbudować zaufanie przed rozpoczęciem powszechnego wdrażania.

Niezbędne przyspieszenie wymaga również znacznego zwiększenia inwestycji w projekty demonstracyjne. W scenariuszu NZE, tak szybko, jak to możliwe należy udostępnić finansowanie na poziomie 90 mld USD, aby zakończyć portfel projektów demonstracyjnych przed 2030 r.: jest to znacznie więcej niż około 25 mld USD, które rządy przeznaczyły na ten cel w swoich budżetach do 2030 r. Większość z tych projektów dotyczy elektryfikacji zastosowań końcowych, CCUS, wodoru i zrównoważonej bioenergii, głównie w transporcie na dużych odległościach i w zastosowaniach w przemyśle ciężkim.

W scenariuszu NZE, zwiększone finansowanie publiczne pomaga w zarządzaniu ryzykiem związanym z takimi pierwszymi w swoim rodzaju projektami oraz w pobudzaniu prywatnych inwestycji w badania i rozwój (B+R). Stanowi to odwrócenie trendów obserwowanych w

ostatnich latach: wydatki rządowe na badania i rozwój w dziedzinie energii na całym świecie, w tym na projekty demonstracyjne, spadły jako udział w PKB z najwyższego poziomu wynoszącego prawie 0,1% w 1980 r. do zaledwie 0,03 % w 2019 r. Finansowanie publiczne będzie również lepiej dostosowane do innowacji niezbędnych do osiągnięcia zerowych emisji netto. W scenariuszu NZE prawie połowa łącznej redukcji emisji do 2050 r. przypada na elektryfikację, CCUS, wodór i zrównoważoną bioenergię. Kluczowe znaczenie dla osiągnięcia około 15% skumulowanej redukcji emisji przewidzianej w scenariuszu NZE na lata 2030-2050 mają tylko trzy technologie: zaawansowane akumulatory o wysokiej gęstości energii, elektrolizery wodoru i DAC.

Rządy stymulują innowacje w scenariuszu NZE

Wprowadzanie nowych technologii energetycznych na rynek może często trwać kilkadziesiąt lat, ale konieczność osiągnięcia zerowych emisji netto na całym świecie do 2050 r. oznacza konieczność znacznie szybszego postępu. Doświadczenie pokazuje, że działania rządów mają kluczowe znaczenie dla skrócenia czasu potrzebnego do wprowadzenia nowych technologii na rynek i ich szerokiego rozpowszechnienia (IEA, 2020i). Rola rządu obejmuje kształcenie ludzi, finansowanie badań i rozwoju, tworzenie sieci wymiany wiedzy, ochronę własności intelektualnej, wykorzystywanie zamówień publicznych w celu pobudzenia wdrażania, wspieranie przedsiębiorstw w zakresie innowacji, inwestowanie w infrastrukturę wspomagającą oraz ustanawianie ram regulacyjnych dla rynków i finansów.

Transfer wiedzy z krajów przodujących we wdrażaniu innowacji może również pomóc w koniecznym przyspieszeniu i jest szczególnie ważny na wczesnych etapach wdrażania, kiedy nowe technologie zazwyczaj nie są konkurencyjne w stosunku do technologii już istniejących. Na przykład w przypadku fotowoltaiki kluczową rolę we wczesnej fazie rozwoju tej technologii w Stanach Zjednoczonych odegrały krajowe laboratoria, projekty wspierane bezpośrednio przez rząd w Japonii stworzyły nisze rynkowe dla początkowego wdrożenia, a zamówienia publiczne i polityka zachęt w Niemczech, Włoszech, Hiszpanii, Stanach Zjednoczonych, Chinach, Australii i Indiach przyczyniły się do powstania globalnego rynku. Akumulatory litowo-jonowe (Li-ion) zostały początkowo opracowane w ramach publicznych i prywatnych badań, które miały miejsce głównie w Japonii, ich pierwsze komercyjne zastosowanie w energetyce było możliwe w Stanach Zjednoczonych, a masowa produkcja odbywa się obecnie głównie w Chinach.

Wiele z największych wyzwań związanych z technologiami czystej energii mogłoby skorzystać z bardziej ukierunkowanego podejścia w celu przyspieszenia postępu (Diaz Anadon, 2012; Mazzucato, 2018). W scenariuszu NZE skoordynowane działania rządów pobudzą inwestycje sektora prywatnego i doprowadzą do postępu w zakresie technologii czystej energii, które obecnie znajdują się na różnych etapach rozwoju.

- Do 2030 r. działania rządu skupiać się będą na wprowadzaniu na rynek nowych technologii o zerowej lub niskiej emisji. Na przykład w scenariuszu NZE stal zacznie być produkowana z wykorzystaniem niskoemisyjnego wodoru w skali konwencjonalnej huty, duże statki zaczną być napędzane niskoemisyjnym amoniakiem, a elektryczne

samochody ciężarowe zaczną być zasilane akumulatorami półprzewodnikowymi. Równolegle nastąpi duże przyspieszenie we wdrażaniu technologii niskoemisyjnych, które są już dostępne na rynku, ale nie osiągnęły jeszcze skali rynku masowego, co spowoduje obniżenie kosztów produkcji, budowy i eksploatacji takich technologii dzięki uczeniu się przez działanie i korzyściom wynikającym z efektu skali.

- W latach 2030-2040 nastąpi konsolidacja postępu technologicznego w celu zwiększenia skali powstających technologii niskoemisyjnych i rozbudowy infrastruktury czystej energii. Technologie czystej energii, które obecnie są na etapie prac laboratoryjnych lub małego prototypu zaczną być oferowane na rynku. Na przykład paliwa zostaną zastąpione przez energię elektryczną w piecach cementowych i w krakingu parowym przy produkcji wysokowartościowych produktów chemicznych.
- W latach 2040-2050 technologie będące dziś na bardzo wczesnym etapie rozwoju zostaną wdrożone na obiecujących rynkach niszowych. Do 2050 r. czyste technologie energetyczne, które są obecnie na etapie demonstracji lub dużych prototypów, staną się głównymi technologiami kupowanymi i instalowanymi oraz będą konkurować z obecnymi technologiami konwencjonalnymi we wszystkich regionach. Na przykład akumulatory o ultra wysokiej gęstości energii będą stosowane w samolotach do krótkich lotów.

4.5.5 Współpraca międzynarodowa

Droga do osiągnięcia zerowych emisji netto do 2050 r. będzie wymagać bezprecedensowego poziomu międzynarodowej współpracy między rządami. Jest to nie tylko kwestia udziału wszystkich krajów w wysiłkach na rzecz osiągnięcia celu, jakim są zerowe emisje netto, ale także kwestia współpracy wszystkich krajów w sposób skuteczny i przynoszący wzajemne korzyści. Osiągnięcie zerowego poziomu emisji netto będzie ogromnym wyzwaniem dla wszystkich krajów, ale w krajach o niższych dochodach wyzwania te będą największe, a rozwiązania dużo trudniejsze do wprowadzenia. Dlatego w wielu z tych krajów zasadnicze znaczenie dla zapewnienia wdrożenia na wczesnym etapie kluczowych technologii i infrastruktury mitygującej zmiany klimatu będzie mieć wsparcie techniczne i finansowe. Bez współpracy międzynarodowej, emisje nie spadną do poziomu zerowego netto do 2050 r.

Istnieją cztery aspekty współpracy międzynarodowej, które są szczególnie ważne (Victor, Geels i Sharpe, 2019).

- **Międzynarodowe sygnały dotyczące popytu i korzyści skali.** Współpraca międzynarodowa miała decydujące znaczenie dla obniżenia kosztów wielu kluczowych technologii energetycznych, jakie opracowano w przeszłości. Może ona przyspieszyć transfer wiedzy i promować korzyści skali. Może również pomóc w dostosowaniu tworzenia nowego popytu na technologie czystej energii i niskoemisyjne paliwa w jednym regionie do rozwoju podaży w innych regionach. Korzyści te należy rozważyć w kontekście znaczenia tworzenia miejsc pracy i potencjału przemysłowego danego kraju oraz zapewnienia odporności łańcucha dostaw.

- **Zarządzanie handlem i konkurencyjnością.** Branże, które działają w wielu krajach, potrzebują normalizacji w celu zapewnienia interoperacyjności. Postęp w zakresie innowacji i wdrażania technologii czystej energii w sektorach takich jak przemysł ciężki był w przeszłości spowolniony ze względu na nieskoordynowane polityk krajowe i brak norm uzgodnionych na szczeblu międzynarodowym. Opracowanie takich norm mogłoby przyspieszyć rozwój i wdrażanie technologii energetycznych.
- **Innowacje, prezentacja i rozpowszechnianie.** Badania i rozwój w obszarze czystej energii oraz patentowanie powstających rozwiązań koncentrują się obecnie w niewielu krajach i regionach: w latach 2014-2018 ponad 90% patentów dotyczących czystej energii udzielono w Stanach Zjednoczonych, Europie, Japonii, Korei i Chinach. Postęp w kierunku osiągnięcia zerowych emisji netto byłby większy dzięki szybkim działaniom mającym na celu poszerzenie doświadczenia i wiedzy na temat technologii czystej energii w krajach, które nie są zaangażowane w ich początkowy rozwój, a także dzięki finansowaniu pierwszych w swoim rodzaju projektów demonstracyjnych na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się. Proces innowacji przyspieszyłby międzynarodowe programy finansowania projektów demonstracyjnych, zwłaszcza w sektorach wykorzystujących duże i złożone technologie (IEA, 2020i).
- **Programy usuwania dwutlenku węgla (CDR).** Technologie CDR, takie jak bioenergia i DAC wyposażone w CCUS, są niezbędne do zapewnienia redukcji emisji na poziomie globalnym. Konieczna jest współpraca międzynarodowa w celu finansowania i certyfikowania tych programów, tak aby jak najlepiej wykorzystać odpowiednie tereny, potencjał energii odnawialnej i zasoby w zakresie składowania, niezależnie od ich lokalizacji. Międzynarodowe mechanizmy handlu emisjami mogłyby odegrać istotną rolę w kompensowaniu emisji w niektórych sektorach lub obszarach o ujemnych emisjach, chociaż wszelkie takie mechanizmy wymagałyby wysokiego stopnia koordynacji w celu zapewnienia funkcjonowania i integralności rynku.

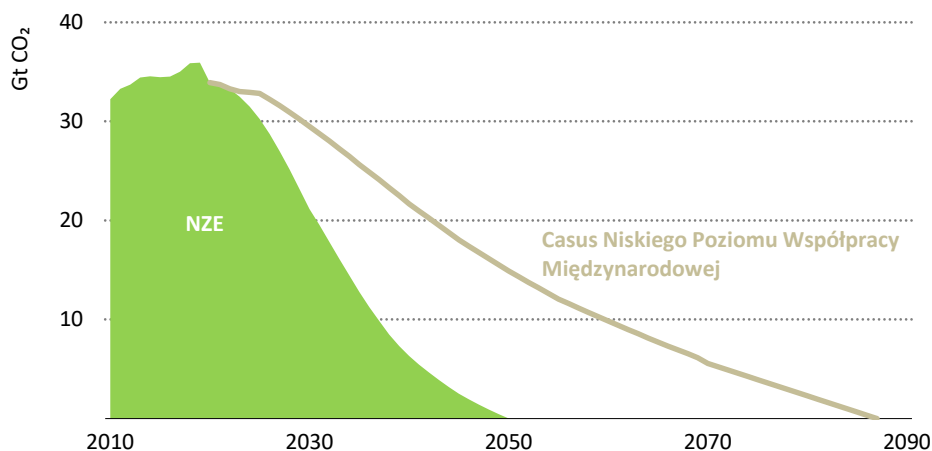
Scenariusz NZE zakłada wprowadzenie polityk współpracy międzynarodowej, działań i wysiłków w celu przezwyciężenia tych przeszkód. Aby ocenić potencjalne konsekwencje braku takiej współpracy, opracowaliśmy *Casus Niskiego Poziomu Współpracy Międzynarodowej* (Ramka 4.2). Jego celem jest zbadanie, co by się stało, gdyby krajowe wysiłki na rzecz łagodzenia zmian klimatycznych zwiększyły się zgodnie z poziomem wysiłków przewidzianych w scenariuszu NZE, jednak bez analogicznego rozwoju ram współpracy międzynarodowej. Przypadek ten pokazuje, że brak współpracy międzynarodowej ma istotny wpływ na innowacje, demonstracje technologii, koordynację rynku i ostatecznie na zmiany w zakresie emisji.

Ramka 4.2 ► Określenie ram dla Casusu Niskiego Poziomu Współpracy Międzynarodowej

W celu opracowania *Casusu Niskiego Poziomu Współpracy Międzynarodowej* oceniono technologie i warianty łagodzące i pogrupowano je na podstawie ich obecnego stopnia dojrzałości oraz znaczenia współpracy międzynarodowej dla ich wdrożenia. Zakłada się,

że dojrzałe technologie na rynkach, które mają ugruntowaną pozycję i są w niewielkim stopniu zależne od współpracy międzynarodowej, mają takie same ścieżki wdrażania jak w scenariuszu NZE. Zakłada się, że technologie i warianty łagodzące, w przypadku których współpraca jest niezbędna do osiągnięcia skali i uniknięcia powielania, które w dużym stopniu są przedmiotem handlu międzynarodowego i są narażone na działania konkurencji, które są zależne od dużych i bardzo kapitałochłonnych programów demonstracyjnych lub które wymagają wsparcia w celu wprowadzenia na rynek i normalizacji w celu zapewnienia interoperacyjności, będą wprowadzane wolniej (Malhotra i Schmidt, 2020). W porównaniu ze scenariusze ZEN, technologie te będą opóźnione o 5-10 lat w początkowym okresie ich wdrażania w gospodarkach rozwiniętych i o 10-15 lat – w gospodarkach wschodzących i rozwijających się.

Rysunek 4.24 ▶ Emisje CO₂ w Casusie Niskiego Poziomu Współpracy Międzynarodowej i w scenariuszu NZE



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

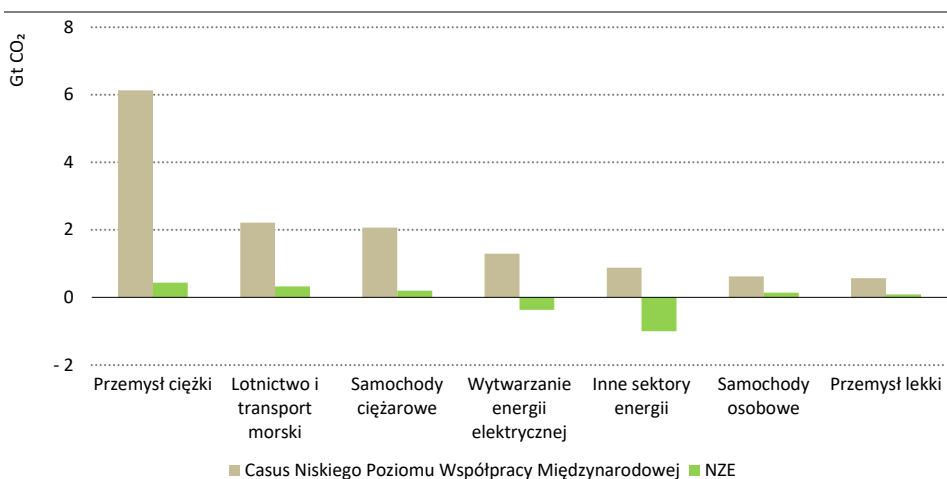
Bez współpracy międzynarodowej dojście do zerowych emisji netto opóźniłoby się o całe dziesięciolecie

Słaba współpraca międzynarodowa spowolni wdrażanie rozwiązań służących łagodzeniu zmiany klimatu, które obecnie znajdują się w fazie demonstracyjnej (Rysunek 4.24). Obejmuje to redukcję emisji w przemyśle ciężkim, w sektorach samochodów ciężarowych, lotnictwa i transportu morskiego oraz CDR. W związku z tym transformacja energetyczna przebiegać będzie nierównomiernie. W ciągu następnych 20 lat, w Casusie Niskiego Poziomu Współpracy Międzynarodowej emisje będą spadać w szybkim, ale mimo wszystko wolniejszym tempie niż w scenariuszu NZE, w sektorach produkcji energii elektrycznej, samochodów osobowych, przemysłu lekkiego i budynków. Jednak w innych obszarach redukcja emisji będzie przebiegać znacznie wolniej. Po połowie lat 2030. tempo redukcji

emisji na całym świecie wyraźnie spadnie w stosunku do scenariusza ZEN, a przejście do zerowego poziomu emisji netto opóźni się o dziesięciolecie. Nieco ponad 40% z 15 Gt emisji CO₂ pozostałych w 2050 r. występować będzie w przemyśle ciężkim, gdzie wolniejsze tempo demonstracji i rozpowszechniania technologii łagodzenia będzie szczególnie istotne (Rysunek 4.25). Kolejna jedna trzecia pozostałych emisji w 2050 r. pochodzić będzie z sektorów lotnictwa, transportu morskiego i samochodów ciężarowych. Postęp w tej dziedzinie utrudniać będzie wolniejszy rozwój i rozpowszechnianie zaawansowanych biopaliw, paliw na bazie wodoru i akumulatorów o wysokiej gęstości energetycznej. Brak współpracy w zakresie wspierania realizacji nowych projektów w na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się oznacza, że redukcja emisji w tych krajach będzie przebiegać znacznie wolniej niż w scenariuszu NZE.

Wyniki te podkreślają znaczenie, jakie dla rządów ma wzmocnienie współpracy międzynarodowej. Potrzebny jest silny bodziec do przyspieszenia innowacji i demonstracji kluczowych technologii, zwłaszcza w przypadku złożonych technologii na rynkach wschodzących i w gospodarkach rozwijających się, gdzie koszty pierwszych projektów są zazwyczaj wyższe, a także do rozwiązania problemów związanych z handlem międzynarodowym i konkurencyjnością, aby zapewnić sprawiedliwą transformację dla wszystkich.

Rysunek 4.25 ▶ Emisje CO₂ w Casusie Niskiego Poziomu Współpracy Międzynarodowej i scenariuszu NZE w wybranych sektorach w 2050 r.



IEA. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Emisje CO₂ w 2050 r. w Przypadku Niskiego Poziomu Współpracy Międzynarodowej będą skoncentrowane w sektorach przemysłu i transportu

Wyjaśnienie: Inne części sektora energii = produkcja paliw i bezpośrednie wychwytywanie z powietrza.

ZAŁĄCZNIKI



Tabele do przewidywań wykorzystanych w scenariuszu

Uwaga ogólna do tabel

Niniejszy załącznik zawiera globalne dane historyczne i dane prognozowane dla scenariusza zerowych emisji netto do roku 2050 dla następujących zestawów danych: podaż energii, zapotrzebowanie na energię, produkcja energii elektrycznej brutto i moc elektryczna, emisje dwutlenku węgla (CO₂) ze spalania paliw kopalnych i procesów przemysłowych oraz wybrane wskaźniki gospodarcze i dotyczące aktywności.

Definicje paliw i sektorów znajdują się w załączniku C. Skróty stosowane we wszystkich tabelach obejmują: EJ = eksadżule; CAAGR = złożony średni roczny wskaźnik wzrostu; CCUS = wychwytywanie, wykorzystanie i składowanie dwutlenku węgla. Zużycie paliw kopalnych w obiektach bez CCUS jest sklasyfikowane jako „bez systemów redukcji emisji”.

Zarówno w tekście niniejszego raportu, jak i w tabelach, w wyniku zaokrągleń mogą występować niewielkie różnice między sumami całkowitymi a sumą ich poszczególnych składników. Stopy wzrostu zostały obliczone narastająco na podstawie średnich rocznej i są oznaczone jako „n.d.” gdy wartość dla roku bazowego wynosi zero lub wartość przekracza 200%. Wartości zerowe są oznaczone jako „-”.

Tabele w formacie Excel można pobrać na stronie: [iea.li/nzedata](https://www.iea.li/nzedata).

Źródła danych

Oficjalnym rokiem bazowym dla prognoz wykorzystanych w scenariuszu jest rok 2019, ponieważ jest to ostatni rok, dla którego dostępny jest pełny obraz zapotrzebowania na energię i jej produkcji. Wykorzystaliśmy jednak bardziej aktualne dane, jeśli były dostępne, i w niniejszym załączniku zamieszczamy nasze szacunki dotyczące produkcji energii i zapotrzebowania na nią w 2020 r. Szacunki na rok 2020 opierają się na aktualizacjach raportów Global Energy Review IEA, które przeprowadzono na podstawie wielu źródeł, w tym najnowszych danych miesięcznych przekazywanych do Centrum Danych Energetycznych IEA, innych publikacji statystycznych administracji krajowych oraz najnowszych danych rynkowych z publikacji Market Report Series IEA obejmujących węgiel, ropę naftową, gaz ziemny, odnawialne źródła energii i energię elektryczną.

Dane historyczne dotyczące mocy wytwórczych energii elektrycznej brutto pochodzą z bazy danych S&P Global Market Intelligence World Electric Power Plants Database (wersja z marca 2020 r.) oraz bazy danych PRIS Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej.

Uwaga dotycząca definicji: A.1. Tabela dotycząca podaży energii i jej przetwarzania

Całkowita podaż energii (TES) jest równoważna wytwarzanej energii elektrycznej i cieplnej plus „innym częściom sektora energii” z wyjątkiem energii elektrycznej i cieplnej, plus

całkowitemu zużyciu końcowemu (TFC) z wyjątkiem energii elektrycznej i ciepłej. TES nie obejmuje ciepła z otoczenia pochodzącego z pomp ciepła ani handlu energią elektryczną. Energia słoneczna w TES obejmuje produkcję fotowoltaiczną, zogniskowaną energię słoneczną oraz końcowe zużycie termalnej energii słonecznej. Inne odnawialne źródła energii w TES obejmują energię geotermalną oraz energię morską (pływy i fale) wykorzystywaną do wytwarzania energii elektrycznej i ciepła. Produkcja wodoru i produkcja biopaliw w innych częściach sektora energii uwzględnia energię wejściową wymaganą do produkcji wodoru handlowego (głównie gaz ziemny i energię elektryczną) oraz straty wynikające z przetwarzania przy produkcji biopaliw (głównie pierwotna biomasa stała) wykorzystywanych w sektorze energii. Odpady nieodnawialne i inne źródła są uwzględnione w TES, choć nie zostały wyszczególnione osobno.

Uwaga dotycząca definicji: A.2. Tabela dotycząca zapotrzebowania na energię

Sektory składające się na całkowite zużycie końcowe (TFC) obejmują przemysł (zużycie energii i surowce), transport, budynki (mieszkalne, usługowe i inne nieokreślone) oraz inne (rolnictwo i inne wykorzystanie nieenergetyczne). Zapotrzebowanie na energię z międzynarodowego bunkra morskiego i lotniczego jest uwzględnione w łącznych wartościach dla transportu.

Uwaga dotycząca definicji: A.3. Tabele dotyczące energii elektrycznej

Dane dotyczące wytwarzania energii elektrycznej wyrażone w terawatogodzinach (TWh) oraz dane dotyczące zainstalowanej mocy elektrycznej wyrażone w gigawatach (GW) podaje się w ujęciu brutto (tj. z uwzględnieniem własnego zużycia przez wytwórcę). Prognozowana moc elektryczna brutto to suma mocy obiektów istniejących i dodanych, pomniejszona o moc obiektów wycofanych z eksploatacji. W całkowitej produkcji energii elektrycznej uwzględniono też inne źródła, choć nie wyszczególniono ich osobno.

Uwaga dotycząca definicji: A.4. Tabela dotycząca emisji CO₂

Całkowita wartość emisji CO₂ obejmuje emisje dwutlenku węgla ze spalania paliw kopalnych i odpadów nieodnawialnych, z procesów przemysłowych i procesów przetwarzania paliw (emisje technologiczne), jak również usuwanie CO₂. Przedstawiono trzy rodzaje usuwania CO₂:

- Wychwytywane i składowane emisje ze spalania bioenergii i odpadów odnawialnych (zazwyczaj wytwarzanie energii elektrycznej).
- Wychwytywane i składowane emisje technologiczne z produkcji biopaliw.
- Dwutlenek węgla wychwytywany z atmosfery i składowany w procesie określanym jako bezpośrednie wychwytywanie i składowanie dwutlenku węgla z powietrza (DACCS).

Pierwsze dwie pozycje są często raportowane jako bioenergia z wychwytywaniem i składowaniem dwutlenku węgla (BECCS). Należy zauważyć, że część CO₂ wychwyconego z produkcji biopaliw i bezpośrednio wychwyconego z powietrza wykorzystuje się do produkcji paliw syntetycznych, co nie jest uwzględnione jako usuwanie CO₂.

Całkowita ilość wychwyconego CO₂ obejmuje dwutlenek węgla wychwycony przez systemy CCUS (takich jak systemy wykorzystywane w produkcji energii elektrycznej lub przez przemysł) oraz CO₂ z atmosfery wychwycony w procesie bezpośredniego wychwytywania z powietrza, ale nie obejmuje CO₂ wychwyconego i zużytego do produkcji mocznika.

Uwaga dotycząca definicji: A.5. Wskaźniki ekonomiczne i dotyczące aktywności

Intensywność emisji wyrażoną w kilogramach dwutlenku węgla na kilowatogodzinę (kg CO₂/kWh) oblicza się na podstawie elektrowni oraz komponentu elektrycznego elektrociepłowni.¹

Inne użyte skróty: PPP = parytet siły nabywczej; GJ = gigadżul; Mt = milion ton; pkm = pasażerokilometr; tkm = tonokilometr; m² = metr kwadratowy.

¹ Aby określić wielkość powiązanych emisji z elektrociepłowni związanych wyłącznie z energią elektryczną, zakładamy, że produkcja ciepła w elektrociepłowni jest efektywna w 90%, a pozostała część wsadu paliwowego jest przeznaczana na wytwarzanie energii elektrycznej.

Tabela A.1: Podaży energii i jej przetwarzanie

	Podaż energii (EJ)					Udziały (%)			CAAGR (%)	
	2019	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2050	2020-2030	2020-2050
Całkowita podaż energii	612	587	547	535	543	100	100	100	-0,7	-0,3
Energia odnawialna	67	69	167	295	362	12	30	67	9,3	5,7
Fotowoltaika	4	5	32	78	109	1	6	20	21	11
Energia wiatrowa	5	6	29	67	89	1	5	16	17	9,6
Energia wodna	15	16	21	27	30	3	4	6	2,9	2,2
Nowoczesne biopaliwa stałe	31	32	54	73	73	5	10	14	5,3	2,8
Nowoczesne biopaliwa płynne	4	3	12	14	15	1	2	3	14	4,9
Nowoczesne biopaliwa gazowe	2	2	5	10	14	0	1	3	10	6,4
Inne odnawialne źródła energii	4	5	13	24	32	1	2	6	11	6,7
Tradycyjne wykorzystanie biomasy	25	25	-	-	-	4	-	-	n.d.	n.d.
Energia jądrowa	30	29	41	54	61	5	8	11	3,5	2,4
Gaz ziemny bez systemów redukcji emisji	139	136	116	44	17	23	21	3	-1,6	-6,6
Gaz ziemny z CCUS	0	1	13	31	43	0	2	8	37	16
Ropa naftowa	190	173	137	79	42	29	25	8	-2,3	-4,6
z czego wykorzystanie nieenergetyczne	28	27	32	31	29	5	6	5	1,4	0,2
Węgiel bez systemów redukcji emisji	160	154	68	16	3	26	12	1	-7,9	-12
Węgiel z CCUS	0	0	4	16	14	0	1	3	60	22
Sektory energii elektrycznej i ciepłej	233	230	240	308	371	100	100	100	0,4	1,6
Energia odnawialna	36	38	107	220	284	17	44	77	11	6,9
Fotowoltaika	2	3	25	61	84	1	10	23	24	12
Energia wiatrowa	5	6	29	67	89	2	12	24	17	9,6
Energia wodna	15	16	21	27	30	7	9	8	2,9	2,2
Bioenergia	9	10	18	35	39	4	8	10	6,3	4,6
Inne odnawialne źródła energii	4	4	14	30	42	2	6	11	14	8,5
Wodór	-	-	5	11	11	-	2	3	n.d.	n.d.
Amoniak	-	-	1	2	2	-	0	0	n.d.	n.d.
Energia jądrowa	30	29	41	54	61	13	17	16	3,5	2,4
Gaz ziemny bez systemów redukcji emisji	56	55	49	4	2	24	21	0	-1,1	-11
Gaz ziemny z CCUS	-	-	1	5	5	-	1	1	n.d.	n.d.
Ropa naftowa	9	8	2	0	0	4	1	0	-12	-14
Węgiel bez systemów redukcji emisji	102	100	30	0	0	43	12	0	-11	-34
Węgiel z CCUS	0	0	3	10	7	0	1	2	55	19
Inne części sektora energii	57	57	61	76	91	100	100	100	0,7	1,5
Produkcja wodoru	-	0	21	49	70	0	35	77	66	23
Produkcja biopaliw	5	6	12	15	12	10	20	13	8	2,7

Tabela A.2: Zapotrzebowanie na energię

	Zapotrzebowanie na energię (EJ)					Udziały (%)			CAAGR (%)	
	2019	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2050	2020-2030	2020-2050
Całkowite zużycie końcowe	435	412	394	363	344	100	100	100	-0,4	-0,6
Energia elektryczna	82	81	103	140	169	20	26	49	2,4	2,5
Paliwa płynne	175	158	143	96	66	38	36	19	-1,0	-2,9
Biopaliwa	4	3	12	14	15	1	3	4	14	4,9
Amoniak	-	-	1	3	5	-	0	1	n.d.	n.d.
Olej syntetyczny	-	-	0	2	5	-	0	1	n.d.	n.d.
Ropa naftowa	171	154	129	77	42	37	33	12	-1,8	-4,2
Paliwa gazowe	70	68	68	60	53	16	17	15	0,1	-0,8
Biometan	0	0	2	5	8	0	1	2	25	13
Wodór	0	0	6	12	20	0	2	6	54	20
Metan syntetyczny	-	-	0	1	4	-	0	1	n.d.	n.d.
Gaz ziemny	70	67	58	40	20	16	15	6	-1,4	-4,0
Paliwa stałe	92	89	61	46	35	22	16	10	-3,6	-3,0
Biomasa	39	39	24	25	25	9	6	7	-4,8	-1,4
Węgiel	53	50	38	21	10	12	10	3	-2,8	-5,3
Ciepło	13	13	12	9	6	3	3	2	-1,2	-2,7
Inne	3	3	7	11	15	1	2	4	8,2	5,2
Przemysł	162	157	170	169	160	100	100	100	0,8	0,1
Energia elektryczna	35	35	47	62	74	22	28	46	3,0	2,5
Paliwa płynne	31	31	31	27	23	20	18	15	-0,2	-0,9
Ropa naftowa	31	31	31	27	23	20	18	15	-0,2	-0,9
Paliwa gazowe	32	32	35	34	28	20	21	18	1,0	-0,4
Biometan	0	0	1	2	4	0	0	3	22	15
Wodór	-	0	3	4	5	0	2	3	44	15
Gaz ziemny bez systemów redukcji emisji	32	32	30	22	9	20	18	6	-0,5	-4,0
Gaz ziemny z CCUS	0	0	1	5	7	0	1	4	38	18
Paliwa stałe	58	52	51	40	30	34	30	18	-0,3	-1,9
Biomasa	10	9	15	19	20	6	9	13	5,2	2,8
Węgiel bez systemów redukcji emisji	48	44	35	15	3	28	20	2	-2,3	-9,0
Węgiel z CCUS	0	0	1	5	7	0	1	4	91	31
Ciepło	6	6	6	3	2	4	3	1	-1,2	-4,5
Inne	0	0	1	3	4	0	1	2	33	14
Hutnictwo żelaza i stali	36	33	37	36	32	21	22	20	1,1	-0,2
Chemikalia	22	20	26	26	25	13	15	15	2,7	0,7
Cement	12	16	11	11	10	10	7	7	-3,3	-1,3

Tabela A.2: Zapotrzebowanie na energię

	Zapotrzebowanie na energię (EJ)					Udziały (%)			CAAGR (%)	
	2019	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2050	2020-2030	2020-2050
Transport	122	105	102	85	80	100	100	100	-0,3	-0,9
Energia elektryczna	1	1	7	22	35	1	7	44	17	11
Paliwa płynne	115	99	89	53	30	94	87	38	-1,0	-3,9
Biopaliwa	4	3	11	12	11	3	11	14	14	4,3
Ropa naftowa	111	96	76	35	9	91	74	12	-2,2	-7,4
Paliwa gazowe	5	5	6	10	15	5	6	18	2,1	3,7
Biometan	0	0	1	1	2	0	0	2	23	11
Wodór	0	0	1	6	13	0	1	16	92	34
Gaz ziemny	5	5	4	2	0	5	4	0	-1,5	-11
Transport drogowy	90	81	73	57	50	77	72	63	-0,9	-1,6
Samochody osobowe	47	41	30	19	17	39	29	21	-3,1	-2,9
Samochody ciężarowe	27	25	28	24	22	24	27	28	1,1	-0,4
Transport lotniczy	14	8	13	13	14	8	13	18	4,6	1,7
Transport morski	12	11	11	10	10	10	11	12	0,4	-0,3
Budynki	129	127	99	89	86	100	100	100	-2,4	-1,3
Energia elektryczna	43	42	45	51	57	33	46	66	0,7	1,0
Paliwa płynne	13	13	9	4	2	10	10	2	-3,2	-6,0
Biopaliwa	0	0	0	1	1	0	0	1	26	12
Ropa naftowa	13	13	9	4	1	10	9	1	-3,4	-7,7
Paliwa gazowe	30	28	23	13	6	22	23	7	-2,1	-4,9
Biometan	0	0	1	2	2	0	1	2	29	11
Wodór	-	0	2	2	2	0	2	2	103	27
Gaz ziemny	30	28	19	7	1	22	20	1	-3,8	-12
Paliwa stałe	34	34	10	7	6	27	10	7	-11	-5,5
Nowoczesna biomasa	5	5	9	7	6	4	9	7	6,9	0,9
Tradycyjne wykorzystanie biomasy	25	25	-	-	-	20	-	-	n.d.	n.d.
Węgiel	4	4	1	0	0	3	1	0	-12	-21
Ciepło	7	7	6	5	4	5	6	5	-1,2	-1,6
Inne	2	3	5	8	11	2	5	12	7,1	4,8
Mieszkania	91	90	67	59	58	71	67	67	-3,0	-1,5
Usługi	38	36	32	30	28	29	33	33	-1,2	-0,9
Inne	22	23	22	20	18	100	100	100	-0,5	-0,9

Tabela A.3: Energia elektryczna

	Produkcja energii elektrycznej (TWh)					Udziały (%)			CAAGR (%)	
	2019	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2050	2020-2030	2020-2050
Produkcja całkowita	26 922	26 778	37 316	56 553	71 164	100	100	100	3,4	3,3
Energia odnawialna	7 153	7 660	22 817	47 521	62 333	29	61	88	12	7,2
Fotowoltaika	665	821	6 970	17 031	23 469	3	19	33	24	12
Energia wiatrowa	1 423	1 592	8 008	18 787	24 785	6	21	35	18	9,6
Energia wodna	4 294	4 418	5 870	7 445	8 461	17	16	12	2,9	2,2
Bioenergia	665	718	1 407	2 676	3 279	3	4	5	7,0	5,2
z czego BECCS	-	-	129	673	842	-	0	1	n.d.	n.d.
CSP	14	14	204	880	1 386	0	1	2	31	17
Geotermalna	92	94	330	625	821	0	1	1	13	7,5
Morska	1	2	27	77	132	0	0	0	28	14
Energia jądrowa	2 792	2 698	3 777	4 855	5 497	10	10	8	3,4	2,4
Paliwa na bazie wodoru	-	-	875	1 857	1 713	-	2	2	n.d.	n.d.
Paliwa kopalne z systemami CCUS	1	4	459	1 659	1 332	0	1	2	61	21
Węgiel z CCUS	1	4	289	966	663	0	1	1	54	19
Gaz ziemny z CCUS	-	-	170	694	669	-	0	1	n.d.	n.d.
Paliwa kopalne wykorzystywane bez systemów redukcji emisji	16 941	16 382	9 358	632	259	61	25	0	-5,4	-13
Węgiel	9 832	9 426	2 947	0	0	35	8	0	-11	-40
Gaz ziemny	6 314	6 200	6 222	626	253	23	17	0	0,0	-10
Ropa naftowa	795	756	189	6	6	3	1	0	-13	-15

	Moc elektryczna (GW)					Udziały (%)			CAAGR (%)	
	2019	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2050	2020-2030	2020-2050
Moc całkowita	7 484	7 795	14 933	26 384	33 415	100	100	100	6,7	5,0
Energia odnawialna	2 707	2 994	10 293	20 732	26 568	38	69	80	13	7,5
Fotowoltaika	603	737	4 956	10 980	14 458	9	33	43	21	10
Energia wiatrowa	623	737	3 101	6 525	8 265	9	21	25	15	8,4
Energia wodna	1 306	1 327	1 804	2 282	2 599	17	12	8	3,1	2,3
Bioenergia	153	171	297	534	640	2	2	2	5,7	4,5
z czego BECCS	-	-	28	125	152	-	0	0	n.d.	n.d.
CSP	6	6	73	281	426	0	0	1	28	15
Geotermalna	15	15	52	98	126	0	0	0	13	7,4
Morska	1	1	11	32	55	0	0	0	34	16
Energia jądrowa	415	415	515	730	812	5	3	2	2,2	2,3
Paliwa na bazie wodoru	-	-	139	1 455	1 867	-	1	6	n.d.	n.d.
Paliwa kopalne z systemami CCUS	0	1	81	312	394	0	1	1	66	25
Węgiel z CCUS	0	1	53	182	222	0	0	1	59	22
Gaz ziemny z CCUS	-	-	28	130	171	-	0	1	n.d.	n.d.
Paliwa kopalne wykorzystywane bez systemów redukcji emisji	4 351	4 368	3 320	1 151	677	56	22	2	-2,7	-6,0
Węgiel	2 124	2 117	1 192	432	158	27	8	0	-5,6	-8,3
Gaz ziemny	1 788	1 829	1 950	679	495	23	13	1	0,6	-4,3
Ropa naftowa	440	422	178	39	25	5	1	0	-8,3	-9,0
Magazynowanie w akumulatorach	11	18	585	2 005	3 097	0	4	9	42	19

Tabela A.4: Emisje CO₂

	Emisje CO ₂ (Mt CO ₂)					CAAGR (%)	
	2019	2020	2030	2040	2050	2020-2030	2020-2050
CO₂ ogółem*	35 926	33 903	21 147	6 316	0	-4,6	n.d.
Działalność związana ze spalaniem (+)	33 499	31 582	19 254	6 030	940	-4,8	-11
Węgiel	14 660	14 110	5 915	1 299	195	-8,3	-13
Ropa naftowa	11 505	10 264	7 426	3 329	928	-3,2	-7,7
Gaz ziemny	7 259	7 138	5 960	1 929	566	-1,8	-8,1
Bioenergia i odpady	75	71	-48	-528	-748	n.d.	n.d.
Usuwanie w przemyśle (-)	1	1	214	914	1 186	75	28
Produkcja biopaliw	1	1	142	385	553	68	24
Bezpośrednie wychwytywanie z powietrza	-	-	71	528	633	n.d.	n.d.
Sektory energii elektrycznej i ciepłej	13 821	13 504	5 816	-81	-369	-8,1	n.d.
Węgiel	10 035	9 786	2 950	102	69	-11	-15
Ropa naftowa	655	628	173	6	6	-12	-14
Gaz ziemny	3 131	3 089	2 781	268	128	-1,0	-10
Bioenergia i odpady	-	-	-87	-457	-572	n.d.	n.d.
Inne części sektora energii*	1 457	1 472	679	-85	-368	-7,4	n.d.
Zużycie końcowe*	20 647	18 928	14 723	7 011	1 370	-2,5	-8,4
Węgiel	4 486	4 171	2 935	1 186	117	-3,5	-11
Ropa naftowa	10 272	9 077	6 973	3 242	880	-2,6	-7,5
Gaz ziemny	3 451	3 332	2 668	1 453	303	-2,2	-7,7
Bioenergia i odpady	75	71	40	-70	-176	-5,6	n.d.
Przemysł*	8 903	8 478	6 892	3 485	519	-2,0	-8,9
Hutnictwo żelaza i stali	2 507	2 349	1 778	859	220	-2,7	-7,6
Chemikalia	1 344	1 296	1 199	654	66	-0,8	-9,5
Cement	2 461	2 334	1 899	906	133	-2,0	-9,1
Transport	8 290	7 153	5 719	2 686	689	-2,2	-7,5
Transport drogowy	6 116	5 483	4 077	1 793	340	-2,9	-8,9
Samochody osobowe	3 121	2 746	1 626	547	85	-5,1	-11
Samochody ciężarowe	1 835	1 721	1 614	890	198	-0,6	-6,9
Transport lotniczy	1 019	621	783	469	210	2,4	-3,5
Transport morski	883	800	705	348	122	-1,3	-6,1
Budynki	3 007	2 860	1 809	685	122	-4,5	-10
Mieszkaniaowe	2 030	1 968	1 377	541	108	-3,5	-9,2
Usługi	977	892	432	144	14	-7,0	-13
Całkowity usunięty CO₂	1	1	317	1 457	1 936	79	29
Całkowity wychwycony CO₂	40	40	1 665	5 619	7 602	45	19

*Obejmuje emisje z procesów przemysłowych.

Tabela A.5: Wskaźniki ekonomiczne i dotyczące aktywności

	Wskaźnik					CAAGR (%)	
	2019	2020	2030	2040	2050	2020-2030	2020-2050
Liczba ludności (w mln)	7 672	7 753	8 505	9 155	9 692	0,9	0,7
PKB (mld USD, 2019, PPP)	134 710	128 276	184 037	246 960	316 411	3,7	3,1
PKB per capita (USD, 2019, PPP)	17 558	16 545	21 638	26 975	32 648	2,7	2,3
TES/PKB (GJ na 1 000 USD, PPP)	4,543	4,578	2,973	2,164	1,716	-4,2	-3,2
TFC/PKB (GJ na 1 000 USD, PPP)	3,231	3,208	2,139	1,468	1,086	-4,0	-3,5
TES na mieszkańca (GJ)	79,77	75,74	64,33	58,38	56,03	-1,6	-1,0
Natężenie emisji CO ₂ przy wytwarzaniu energii elektrycznej (kg CO ₂ na kWh)	0,468	0,438	0,138	-0,001	-0,005	-11	n.d.

	Działalność					CAAGR (%)	
	2019	2020	2030	2040	2050	2020-2030	2020-2050
Produkcja przemysłowa							
Podstawowe produkty chemiczne (Mt)	538	529	641	686	688	1,9	0,9
Stal (Mt)	1 869	1 781	1 937	1 958	1 987	0,8	0,4
Cement (Mt)	4 215	4 054	4 258	4 129	4 032	0,5	-0,0
Transport							
Samochody osobowe (mld pojazdów-km)	15 300	14 261	15 775	19 159	24 517	1,0	1,8
Samochody ciężarowe (mld tonów-km)	26 646	25 761	38 072	49 756	59 990	4,0	2,9
Lotnictwo (mld pasażerów-km)	8 506	5 474	10 271	11 573	14 566	6,5	3,3
Transport morski (mld tonów-km)	107 225	109 153	155 621	209 905	291 032	3,6	3,3
Budynki							
Powierzchnia usługowa (mln m ²)	49 670	49 825	58 867	68 576	78 157	1,7	1,5
Powierzchnia mieszkalna (mln m ²)	190 062	192 558	235 745	290 696	345 183	2,0	2,0
Mln gospodarstw domowych	2 095	2 116	2 435	2 765	3 051	1,4	1,2

Koszty technologii

Wytwarzanie energii elektrycznej

Tabela B.1 ► Koszty technologii wytwarzania energii elektrycznej według
wybranych regionów w scenariuszu NZE

Stopa finansowania (%)		Koszty kapitałowe (USD/kW)			Współczynnik mocy (%)			Paliwo, CO ₂ oraz EIU (USD/MWh)			LCOE (USD/MWh)		
1	Wszystkie	2020	2030	2050	2020	2030	2050	2020	2030	2050	2020	2030	2050
Stany Zjednoczone													
Energia jądrowa	8,0	5 000	4 800	4 500	90	80	75	30	30	30	105	110	110
Węgiel	8,0	2 100	2 100	2 100	20	n.d.	n.d.	90	170	235	220	n.d.	n.d.
CCGT zasilany gazem	8,0	1 000	1 000	1 000	55	25	n.d.	50	80	105	70	125	n.d.
Fotowoltaika	3,7	1 140	620	420	21	22	23	10	10	10	50	30	20
Lądowa energia wiatrowa	3,7	1 540	1 420	1 320	42	43	44	10	10	10	35	35	30
Morska energia wiatrowa	4,5	4 040	2 080	1 480	42	46	48	35	20	15	115	60	40
Unia Europejska													
Energia jądrowa	8,0	6 600	5 100	4 500	75	75	70	35	35	35	150	120	115
Węgiel	8,0	2 000	2 000	2 000	20	n.d.	n.d.	120	205	275	250	n.d.	n.d.
CCGT zasilany gazem	8,0	1 000	1 000	1 000	40	20	n.d.	65	95	120	100	150	n.d.
Fotowoltaika	3,2	790	460	340	13	14	14	10	10	10	55	35	25
Lądowa energia wiatrowa	3,2	1 540	1 420	1 300	29	30	31	15	15	15	55	45	40
Morska energia wiatrowa	4,0	3 600	2 020	1 420	51	56	59	15	10	5	75	40	25
Chiny													
Energia jądrowa	7,0	2 800	2 800	2 500	80	80	80	25	25	25	65	65	60
Węgiel	7,0	800	800	800	60	n.d.	n.d.	75	135	195	90	n.d.	n.d.
CCGT zasilany gazem	7,0	560	560	560	45	35	n.d.	75	100	120	90	115	n.d.
Fotowoltaika	3,5	750	400	280	17	18	19	10	5	5	40	25	15
Lądowa energia wiatrowa	3,5	1 220	1 120	1 040	26	27	27	15	10	10	45	40	40
Morska energia wiatrowa	4,3	2 840	1 560	1 000	34	41	43	25	15	10	95	45	30
Indie													
Energia jądrowa	7,0	2 800	2 800	2 800	70	70	70	30	30	30	75	75	75
Węgiel	7,0	1 200	1 200	1 200	50	n.d.	n.d.	35	50	75	65	n.d.	n.d.
CCGT zasilany gazem	7,0	700	700	700	55	50	n.d.	45	45	50	55	60	n.d.
Fotowoltaika	5,8	580	310	220	20	21	21	5	5	5	35	20	15
Lądowa energia wiatrowa	5,8	1 040	980	940	26	28	29	10	10	10	50	45	40
Morska energia wiatrowa	6,6	2 980	1 680	1 180	32	37	38	25	15	10	130	70	45

Wyjaśnienie: O&M = eksploatacja i utrzymanie; LCOE = jednostkowy koszt wytwarzania energii elektrycznej; kW = kilowat; MWh = megawatogodzina; CCGT = układ gazowo-parowy z turbiną gazową; n.d. = nie dotyczy. Składniki kosztów i wartości LCOE są zaokrąglone.

Źródła: Analiza IEA; IRENA Renewable Costing Alliance; IRENA (2020).

- Do głównych czynników wpływających na wartość LCOE należą stopa procentowa overnight, współczynnik wydajności, który opisuje średnią moc w ciągu roku w stosunku do maksymalnej mocy znamionowej (podawane są typowe wartości), koszt wsadu paliwa oraz eksploatacja i utrzymanie. Zakładane wartości ekonomicznego okresu eksploatacji to 25 lat dla fotowoltaiki oraz lądowej i morskiej energetyki wiatrowej.
- Średnie ważone koszty kapitału (WACC) odzwierciedlają analizę dla fotowoltaiki na skalę przemysłową przedstawioną w dokumencie World Energy Outlook 2020 (IEA, 2020) oraz dla morskiej energetyki wiatrowej przedstawioną w dokumencie Offshore Wind Outlook 2019 (IEA, 2019). Założono, że wiatr na lądzie ma taką samą wartość WACC jak fotowoltaika na skalę przemysłową. Przyjęto standardową wartość WACC dla energetyki jądrowej oraz elektrowni węglowych i gazowych (7-8% w zależności od etapu rozwoju gospodarczego).
- Koszty paliwa, CO₂ i EiU odzwierciedlają średnią z dziesięciu lat następujących po wskazanej w prognozach dacie.
- Koszty kapitałowe energetyki jądrowej stanowią koszty „n-tego w swoim rodzaju” dla nowych konstrukcji reaktorów, przy znacznej redukcji kosztów w stosunku do konstrukcji pierwszych w swoim rodzaju.

Akumulatory i wodór

Tabela B.2 ► Koszty kapitału dla akumulatorów i technologii produkcji wodoru w scenariuszu NZENZE

	2020	2030	2050
Zestawy akumulatorów do zastosowań transportowych (USD/kWh)	130 – 155	75 – 90	55 – 80
Elektrolizery niskotemperaturowe (USD/kWe)	835 – 1 300	255 – 515	200 – 390
Gaz ziemny z CCUS (USD/kW H ₂)	1 155 – 2 010	990 – 1 725	935 – 1 625

Wyjaśnienie: kWh = kilowatogodzina; kW_e = kilowatogodzina energii elektrycznej; CCUS = wychwytywanie, wykorzystywanie i składowanie dwutlenku węgla; H₂ = wodór. Koszty kapitału dla elektrolizerów i produkcji wodoru z gazu ziemnego z wykorzystaniem CCUS są kosztami równymi stopie overnight.

Źródło: Analiza IEA.

Definicje

Niniejszy załącznik zawiera ogólne informacje na temat terminologii stosowanej w niniejszym raporcie, w tym jednostek i ogólnych współczynników przeliczeniowych, definicji paliw, procesów i sektorów, podziału na grupy regionalne i krajowe, a także skrótów i akronimów.

Jednostki

Obszar	km ²	kilometr kwadratowy
	Mha	milion hektarów
Akumulatory	Wh/kg	watogodziny na kilogram
Węgiel	Mtce	mln ton ekwiwalentu węgla (co odpowiada 0,7 Mtoe)
Odległość	km	kilometr
Emisje	ppm	części na milion (według objętości)
	tCO ₂	tony dwutlenku węgla
	Gt CO ₂ e	gigatony ekwiwalentu dwutlenku węgla (określone z wykorzystaniem 100-letnich współczynników ocieplenia globalnego dla różnych gazów cieplarnianych)
	kg CO ₂ e	kilogramy ekwiwalentu dwutlenku węgla
	g CO ₂ /km	gramy dwutlenku węgla na kilometr
	kg CO ₂ /kWh	kilogramy dwutlenku węgla na kilowatogodzinę
Energia	EJ	eksadżul
	PJ	petadżul
	TJ	teradżul
	GJ	gigadżul
	MJ	megadżul
	boe	baryłka przeliczeniowa ropy
	toe	tona przeliczeniowa ropy
	ktoe	tysiąc ton przeliczeniowych ropy
	Mtoe	milion ton przeliczeniowych ropy
	MBtu	milion brytyjskich jednostek ciepła
	kWh	kilowatogodzina
	MWh	megawatogodzina
	GWh	gigawatogodzina
	TWh	terawatogodzina
Gaz	bcm	miliard metrów sześciennych
	tcm	bilion metrów sześciennych
Masa	kg	kilogram (1 000 kg = 1 tona)
	kt	kilotona (1 tona x 10 ³)
	(Mt)	milion ton (1 tona x 10 ⁶)
	Gt	gigatona (1 tona x 10 ⁹)

Jednostki monetarne	milion USD	1 dolar amerykański x 10 ⁶
	miliard USD	1 dolar amerykański x 10 ⁹
	bilion USD	1 dolar amerykański x 10 ¹²
	USD/tCO ₂	dolarów amerykańskich na tonę dwutlenku węgla
Ropa naftowa	kb/d	tysiąc baryłek dziennie
	mb/d	milion baryłek dziennie
	mboe/d	milion baryłek przeliczeniowych ropy dziennie
Moc	W	wat (1 dżul na sekundę)
	kW	kilowat (1 wat x 10 ³)
	MW	megawat (1 wat x 10 ⁶)
	GW	gigawat (1 wat x 10 ⁹)
	TW	terawat (1 wat x 10 ¹²)

Ogólne współczynniki przeliczeniowe dla energii

		Mnożnik do przeliczenia na:				
		EJ	Gcal	Mtoe	MBtu	GWh
Przeliczenie z:	EJ	1	238,8 x 10 ⁶	23,88	947,8 x 10 ³	2,778 x 10 ⁵
	Gcal	4,1868 x 10 ⁻⁹	1	10 ⁻⁷	3,968	1,163 x 10 ⁻³
	Mtoe	4,1868 x 10 ⁻²	10 ⁷	1	3,968 x 10 ⁷	11 630
	MBtu	1.0551 x 10 ⁻⁹	0,252	2,52 x 10 ⁻⁸	1	2,931 x 10 ⁻⁴
	GWh	3,6 x 10 ⁻⁶	860	8,6 x 10 ⁻⁵	3 412	1

Wyjaśnienie: Nie istnieje ogólnie przyjęta definicji boe; zazwyczaj stosowane przeliczniki wahają się od 7,15 do 7,40 boe na 1 toe.

Przeliczenia walut

Kursy walut (średnia roczna z 2019 r.)	1 dolar amerykański (USD) to równowartość:
Funt brytyjski	0,78
Juan chiński	6,91
Euro	0,89
Rupia indyjska	70,42
Rupia indonezyjska	14 147,67
Jen japoński	109,01
Rubel rosyjski	64,74
Rand południowoafrykański	14,45

Źródło: Statystyki rachunków narodowych OECD: zestaw danych dotyczących parytetów siły nabywczej i kursów walut, lipiec 2020 r.

Definicje

Zaawansowana bioenergia: Zrównoważone paliwa produkowane z surowców roślinnych innych niż spożywcze, które są w stanie zapewnić znaczne ograniczenie emisji gazów cieplarnianych w całym cyklu życia w porównaniu z alternatywnymi paliwami kopalnymi i które nie konkurują bezpośrednio z uprawami roślin spożywczych i paszowych o grunty rolne ani nie powodują negatywnych skutków w zakresie zrównoważonego rozwoju. Definicja ta różni się od definicji „zaawansowanych biopaliw” stosowanej w ustawodawstwie USA, która opiera się na redukcji gazów cieplarnianych w cyklu życia o co najmniej 50% i która w związku z tym obejmuje etanol z trzciny cukrowej.

Rolnictwo: Obejmuje całą energię wykorzystywaną w gospodarstwach rolnych, leśnictwie i rybołówstwie.

Emisje z rolnictwa, leśnictwa i innych form użytkowania gruntów (AFOLU): Obejmują emisje gazów cieplarnianych pochodzących z rolnictwa, leśnictwa i innych form użytkowania gruntów.

Amoniak (NH_3): Związek chemiczny składający się z azotu i wodoru. Może być stosowany bezpośrednio jako paliwo w procesie bezpośredniego spalania, a także w ogniach paliwowych lub jako nośnik wodoru. Aby być paliwem niskoemisyjnym, amoniak musi być produkowany z niskoemisyjnego wodoru, azot musi być oddzielany w procesie Habera, a zapotrzebowanie na energię elektryczną zaspokajane musi być przez niskoemisyjną energię elektryczną.

Lotnictwo: Ten rodzaj transportu obejmuje zarówno loty krajowe, jak i loty międzynarodowe oraz wykorzystanie w nich paliw lotniczych. Lotnictwo krajowe obejmuje loty, które rozpoczynają się i kończą w tym samym kraju; obejmuje ono również loty wykonywane w celach wojskowych. Lotnictwo międzynarodowe obejmuje loty, w których lądowanie odbywa się w kraju innym niż miejsce odlotu.

Rezerwowe moce wytwórcze: Gospodarstwa domowe i przedsiębiorstwa podłączone do głównej sieci energetycznej mogą również posiadać rezerwowe moce wytwórcze energii elektrycznej, które w przypadku zakłóceń mogą stanowić źródło energii elektrycznej. Generatory rezerwowe są zazwyczaj zasilane olejem napędowym lub benzyną, a ich moc może wynosić zaledwie kilka kilowatów. Takie moce różnią się od systemów mini-sieciowych i pozasieciowych, które nie są podłączone do głównej sieci energetycznej.

Biodiesel: Odpowiednik oleju napędowego, przetworzone paliwo produkowane w procesie transestryfikacji (proces chemiczny, w którym trójglicerydy przekształcane są w oleje) olejów roślinnych i tłuszczów zwierzęcych.

Bioenergia: Energia zawarta w stałych, płynnych i gazowych produktach pochodzących z biomasy i biogazu. Obejmuje to biomasa stałą, biopaliwa płynne i biogazy.

Biogaz: Mieszanina metanu, dwutlenku węgla i niewielkich ilości innych gazów powstających w wyniku beztlenowej fermentacji materii organicznej w środowisku pozbawionym tlenu.

Biogazy: Obejmują biogaz i biometan.

Biometan: Biometan to prawie czysty metan produkowany w procesie uszlachetniania biogazu (proces, w którym usuwana jest całość CO₂ i innych zanieczyszczenia obecne w biogazie) lub w procesie gazyfikacji biomasy stałej, a następnie metanizacji. Jest on również określany jako odnawialny gaz ziemny.

Budynki: Energia dla sektora budynków obejmuje energię zużywaną w budynkach mieszkalnych, komercyjnych i użytkowanych przez instytucje oraz w innych nieokreślonych budynkach. Zużycie energii w budynku obejmuje zużycie na potrzeby ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń, ogrzewania wody, oświetlenia oraz zasilania urządzeń i sprzętu do gotowania.

Bunkry: Zalicza się do nich zarówno międzynarodowy bunkier morski, jak i międzynarodowy bunkier lotniczy.

Kredyt mocy: Część mocy obiektów, co do których można w sposób wiarygodny oczekiwać, że będą wytwarzać energię elektryczną w okresach szczytowego zapotrzebowania w sieci, do której są podłączone.

Wychwytywanie, wykorzystywanie i składowanie dwutlenku węgla (CCUS): Proces wychwytywania CO₂ ze spalania paliw, procesów przemysłowych lub bezpośrednio z atmosfery. Wychwycone emisje CO₂ można składować w podziemnych formacjach geologicznych, na lądzie lub na morzu, lub wykorzystać jako wsad lub surowiec do wytwarzania produktów.

Czysta energia: Obejmuje odnawialne źródła energii, efektywność energetyczną, paliwa niskoemisyjne, energię jądrową, magazynowanie w akumulatorach oraz wychwytywanie, wykorzystywanie i składowanie dwutlenku węgla.

Czyste urządzenia do gotowania: Urządzenia do gotowania, które są uważane za bezpieczniejsze, bardziej wydajne i bardziej przyjazne dla środowiska niż tradycyjne urządzenia wykorzystujące biomasę stałą (takie jak ognisko wykonane z trzech kamieni). Dotyczy to przede wszystkim ulepszonych pieców do gotowania na biomasę stałą, instalacji na biogaz, pieców na gaz płynny, pieców na etanol i pieców słonecznych.

Węgiel: Obejmuje zarówno węgiel pierwotny (w tym węgiel brunatny, koksujący i energetyczny), jak i paliwa pochodne (w tym brykiety z węgla kamiennego, brykiety z węgla brunatnego, koks z koksowni, koks z gazowni, gaz z koksowni, gaz wielkopiecowy oraz gaz konwertyrowy). Termin ten obejmuje również torf.

Zogniskowana energia słoneczna (CSP): Solarne termiczne systemy wytwarzania energii elektrycznej, które zbierają i koncentrują światło słoneczne w celu wytworzenia ciepła o wysokiej temperaturze do produkcji energii elektrycznej.

Konwencjonalne biopaliwa płynne: Paliwa produkowane z surowców roślinnych. Te biopaliwa płynne są powszechnie określane jako biopaliwa pierwszej generacji i obejmują etanol z trzciny cukrowej, etanol na bazie skrobi, ester metylowy kwasów tłuszczowych (FAME) i czysty olej roślinny (SVO).

Analiza dekompozycji: Podejście statystyczne, w którym dekompozycji poddawany jest zagregowany wskaźnik w celu ilościowego określenia względnego wkładu zbioru uprzednio zdefiniowanych czynników prowadzących do zmiany tego zagregowanego wskaźnika. W niniejszym raporcie zastosowano addytywną dekompozycję wskaźnika typu Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI).

Integracja po stronie zapotrzebowania (DSI): Składa się z dwóch rodzajów środków: działań wpływających na kształt obciążenia, takich jak efektywność energetyczna i elektryfikacja, oraz działań zarządzających obciążeniem, takich jak reagowanie po stronie zapotrzebowania.

Reagowanie po stronie zapotrzebowania (DSR): Opisuje działania, które mogą wpływać na profil obciążenia, takie jak przesunięcie krzywej obciążenia w czasie bez wpływu na całkowite zapotrzebowanie na energię elektryczną, lub rzuty obciążenia, takie jak krótkotrwałe przerwanie zapotrzebowania lub regulacja intensywności zapotrzebowania przez pewien czas.

Produkcja dyspozycyjna: Termin ten oznacza technologie, których moc wyjściowa może być łatwo kontrolowana – zwiększana do maksymalnej mocy znamionowej lub zmniejszana do zera – w celu dostosowania podaży do zapotrzebowania.

Zapotrzebowanie na energię elektryczną: Całkowita produkcja energii elektrycznej brutto pomniejszona o produkcję na potrzeby własne, powiększona o handel netto (import pomniejszony o eksport), pomniejszona o straty przesyłowe i dystrybucyjne.

Produkcja energii elektrycznej: Całkowita ilość energii elektrycznej wyprodukowana przez elektrownie lub elektrociepłownie, łącznie z produkcją na potrzeby własne. Jest również określana jako produkcja brutto.

Emisje CO₂ z sektora energii: Emisja dwutlenku węgla ze spalania paliw (z wyłączeniem odpadów nieodnawialnych). Należy zwrócić uwagę na to, że nie obejmuje ona emisji ulotnych z paliw, emisji CO₂ pochodzących z transportu, składowania lub procesów przemysłowych.

Emisje gazów cieplarnianych z sektora energii: Emisje CO₂ ze spalania paliw oraz ulotne i uwolnione emisje metanu i podtlenku azotu (N₂O) z sektorów energii i przemysłu.

Usługi energetyczne: Patrz energia użytkowa.

Etanol: Termin ten oznacza wyłącznie bioetanol. Etanol jest produkowany w wyniku fermentacji biomasy o wysokiej zawartości węglowodanów. Obecnie etanol jest wytwarzany ze skrobi i cukrów, ale technologie drugiej generacji pozwolą na wytwarzanie go z celulozy i hemicelulozy, czyli materiału włóknistego, który stanowi większość materii roślinnej.

Synteza Fischera-Tropscha: Katalityczny proces produkcyjny wykorzystywany do wytwarzania paliw syntetycznych. Umożliwia wykorzystanie gazu ziemnego, węgla i biomasy.

Gazy: Termin ten obejmuje gaz ziemny, biogazy, metan syntetyczny i wodór.

Energia geotermalna: Energia geotermalna to ciepło pochodzące spod powierzchni ziemi. Na powierzchnię energia ta jest przenoszona w wodzie i/lub parze wodnej. W zależności od jej

właściwości, energia geotermalna może być wykorzystywana do celów grzewczych i chłodniczych lub może być wykorzystana do wytwarzania czystej energii elektrycznej, jeśli odpowiednia jest temperatura medium.

Ogrzewanie (zastosowanie końcowe): Można je zapewnić poprzez spalanie paliw kopalnych lub odnawialnych, z bezpośrednich systemów ciepła geotermalnego lub słonecznego, z egzotermicznych procesów chemicznych i energii elektrycznej (poprzez ogrzewanie oporowe lub pompy ciepła, które mogą je pozyskiwać z powietrza atmosferycznego i płynów). Kategoria ta odnosi się do szerokiego zakresu zastosowań końcowych, w tym ogrzewania pomieszczeń i wody oraz gotowania w budynkach, odsalania i zastosowań technologicznych w przemyśle. Termin ten nie obejmuje zastosowań związanych z chłodzeniem.

Ciepło (zaopatrzenie): Uzyskiwane ze spalania paliw, reaktorów jądrowych, zasobów geotermalnych oraz wychwytywania promieniowania słonecznego. Może być wykorzystywane do ogrzewania lub chłodzenia, lub przekształcane w energię mechaniczną na potrzeby transportu lub wytwarzania energii elektrycznej. Sprzedaż ciepła użytkowego raportowana jest w ramach całkowitego zużycia końcowego z wkładem paliwa przypisanym do sektorów energii elektrycznej i ciepła.

Wodór: Wodór jest wykorzystywany w systemie energetycznym do rafinacji paliw węglowodorowych oraz jako samodzielny nośnik energii. Jest on również wytwarzany z innych produktów energetycznych w celu wykorzystania w produkcji wyrobów chemicznych. Jako nośnik energii może być produkowany z paliw węglowodorowych lub z elektrolizy wody z wykorzystaniem energii elektrycznej i może być spalany lub wykorzystywany w ogniwach paliwowych do produkcji energii elektrycznej i ciepła w wielu różnych zastosowaniach. Aby wodór mógł być uznany za wodór niskoemisyjny, należy albo zapobiec emisjom związanym z jego produkcją paliw kopalnych (na przykład poprzez wychwytywanie, wykorzystanie i składowanie dwutlenku węgla), albo energia elektryczna dostarczana na potrzeby produkcji wodoru z wody musi być energią elektryczną o niskiej emisji dwutlenku węgla. W niniejszym raporcie końcowe zużycie wodoru obejmuje zapotrzebowanie na czysty wodór i nie obejmuje wodoru produkowanego i używanego na miejscu przez ten sam podmiot. Zapotrzebowanie na paliwa na bazie wodoru, takie jak amoniak lub węglowodory syntetyczne, rozpatrywane jest oddzielnie.

Paliwa na bazie wodoru: Obejmują one amoniak i węglowodory syntetyczne (gazy i płyny). Termin „na bazie wodoru” występujący na ilustracjach dotyczy wodoru i paliw na bazie wodoru.

Hydroenergetyka: Zawartość energii w energii elektrycznej wyprodukowanej w elektrowniach wodnych, przy założeniu 100% sprawności. Nie obejmuje ona produkcji w elektrowniach szczytowo-pompowych i morskich (pływowych i falowych).

Przemysł: Sektor ten obejmuje paliwa wykorzystywane w przemyśle wytwórczym i budownictwie. Kluczowe gałęzie przemysłu to hutnictwo żelaza i stali, przemysł chemiczny i petrochemiczny, przemysł cementowy oraz przemysł celulozowo-papierniczy. Zużycie paliw

do transportu towarów raportowane jest w ramach sektora transportu, natomiast zużycie przez pojazdy inne niż drogowe raportowane jest w ramach sektora przemysłu.

Międzynarodowe bunkry lotnicze: Termin ten obejmuje dostawy paliw lotniczych dla statków powietrznych na potrzeby lotnictwa międzynarodowego. Nie uwzględnia on paliw wykorzystywane przez linie lotnicze w ich pojazdach drogowych. Podział na loty krajowe i międzynarodowe jest określany na podstawie miejsca wylotu i lądowania, a nie na podstawie przynależności państwowej linii lotniczej. W przypadku wielu krajów niesłusznie wyklucza to paliwa wykorzystywane przez przewoźników krajowych do wykonywania przez nich lotów międzynarodowych.

Międzynarodowe bunkry morskie: Termin ten obejmuje paliwa dostarczane na statki wszystkich bander, które uczestniczą w żegludze międzynarodowej. Żegluga międzynarodowa może odbywać się na morzu, na śródlądowych jeziorach i drogach wodnych oraz na wodach przybrzeżnych. Termin ten nie obejmuje zużycie paliwa przez statki prowadzące żeglugę krajową. Podział na żeglugę krajową i międzynarodową jest określany na podstawie portu początkowego i docelowego, a nie na podstawie bandery lub przynależności państwowej statku. Zużycie paliw przez statki rybackie i przez siły zbrojne jest wyłączone i ujęte w sektorze mieszkaniowym, usług i rolnictwa.

Inwestycja: Wszystkie dane i prognozy dotyczące inwestycji odzwierciedlają wydatki w całym cyklu życia projektu, tzn. wydatkowany kapitał przypisany jest do roku, w którym dany koszt został poniesiony. Inwestycje dotyczące ropy naftowej, gazu i węgla obejmują produkcję, przetwarzanie i transport; inwestycje w sektorze energii obejmują remonty, modernizacje, budowę nowych obiektów i wymianę dotyczącą wszystkich paliw i technologii wytwarzania energii w sieci, w minisieciach i poza siecią, a także inwestycje w przesył i dystrybucję oraz magazynowanie energii w akumulatorach. Dane dotyczące inwestycji prezentowane są w ujęciu realnym w dolarach amerykańskich z 2019 r., o ile nie podano inaczej.

Pojazdy lekkie (LDV): Obejmują samochody osobowe i lekkie pojazdy użytkowe (o masie całkowitej <3,5 tony).

Biopaliwa płynne: Paliwa płynne uzyskiwane z biomasy lub materiałów odpadowych, obejmujące etanol i biodiesel. Można je sklasyfikować jako konwencjonalne i zaawansowane biopaliwa płynne w zależności od surowców bioenergetycznych i technologii wykorzystywanych do ich produkcji oraz ich odpowiedniego stopnia dojrzałości. O ile nie stwierdzono inaczej, podane objętości biopaliw płynnych są równoważne pod względem zawartości energii benzynie i olejowi napędowemu.

Płyny: Obejmują ropę naftową, biopaliwa płynne (objętości równoważne pod względem zawartości energii benzynie i olejowi napędowemu), olej syntetyczny i amoniak.

Niskoemisyjna energia elektryczna: Termin ten obejmuje technologie energii odnawialnej, wytwarzanie energii na bazie wodoru, energię jądrową i elektrownie wykorzystujące paliwa kopalne wyposażone w systemy wychwytywania, wykorzystywania i składowania dwutlenku węgla.

Paliwa niskoemisyjne: Obejmują biopaliwa płynne, biogaz i biometan, wodór oraz paliwa na bazie wodoru, które nie emitują CO₂ pochodzącego z paliw kopalnych bezpośrednio podczas użycia, a także emitują jego bardzo niewielkie ilości podczas produkcji.

Energia morska: Energia mechaniczna pochodzącą z ruchu pływów, ruchu fal lub prądów oceanicznych i wykorzystywana do wytwarzania energii elektrycznej.

Wodór handlowy: Wodór wyprodukowany przez jedno przedsiębiorstwo w celu sprzedaży innym przedsiębiorstwom; równoważny wodorowi raportowanemu w ramach całkowitego zużycia końcowego.

Minisieci: Małe systemy sieciowe łączące pewną liczbę gospodarstw domowych lub innych odbiorców.

Nowoczesna bioenergia: Obejmuje nowoczesną biomasę stałą, biopaliwa płynne oraz biogazy pozyskiwane ze źródeł odnawialnych. Nie obejmuje tradycyjnego wykorzystania biomasy.

Dostęp do nowoczesnej energii: Obejmuje on dostęp gospodarstw domowych do minimalnego poziomu elektryczności, dostęp gospodarstw domowych do bezpieczniejszych i bardziej zrównoważonych paliw do gotowania i ogrzewania oraz pieców, dostęp umożliwiający prowadzenie produktywniej działalności gospodarczej oraz dostęp do usług publicznych.

Nowoczesne odnawialne źródła energii: Obejmują one wszystkie zastosowania energii odnawialnej z wyjątkiem tradycyjnego wykorzystania biomasy stałej.

Nowoczesna biomasa stała: Wykorzystanie biomasy stałej w ulepszonych piecach kuchennych i nowoczesnych technologiach wykorzystujących przetworzoną biomasę, taką jak pelet.

Gaz ziemny: Termin ten obejmuje gazy występujące w złożach, w postaci płynnej lub gazowej, składające się głównie z metanu. Obejmuje on zarówno gaz „suchy”, pochodzący z pól, z których wydobywa się węglowodory wyłącznie w stanie gazowym, jak i gaz „mokry”, występujący łącznie z ropą naftową, a także metan odzyskany z kopalni węgla (gaz kopalniany). Termin ten nie obejmuje kondensatu gazu ziemnego (NGL), gazu przetworzonego (produkowanego z odpadów komunalnych, przemysłowych lub ścieków) oraz gazu odprowadzanego do atmosfery lub spalanego w pochodniach. Dane dotyczące gazu podane w metrach sześciennych określone są w oparciu o wartość opałową brutto i mierzone są w temperaturze 15 °C i przy ciśnieniu 760 mm Hg („Warunki Standardowe”). Dane dotyczące gazu podane w tonach przeliczeniowych ropy, głównie dla celów porównawczych z innymi paliwami, odnoszą się do wartości opałowej netto. Różnica pomiędzy wartością opałową netto a wartością opałową brutto to ciepło utajone parowania pary wodnej powstającej podczas spalania paliwa (dla gazu wartość opałowa netto jest o 10% niższa od wartości opałowej brutto).

Kondensat gazu ziemnego (NGL): Ciekłe lub skroplone węglowodory produkowane podczas wytwarzania, oczyszczania i stabilizacji gazu ziemnego. Są to części gazu ziemnego, które są

odzyskiwane jako ciecze w separatorach, urządzeniach terenowych lub zakładach przetwórstwa gazu. NGL obejmuje między innymi etan (po usunięciu ze strumienia gazu ziemnego), propan, butan, pentan, benzynę naturalną i kondensaty.

Gazy sieciowe: Termin ten obejmuje gaz ziemny, biometan, metan syntetyczny i wodór dodawany do sieci gazowniczej.

Zużycie nieenergetyczne: Paliwa wykorzystywane jako surowce chemiczne i produkty nieenergetyczne. Przykłady produktów nieenergetycznych obejmują smary, parafiny, asfalt, bitum, smoły węglowe i oleje wykorzystywane jako środki do konserwacji drewna.

Energia jądrowa: Oznacza ekwiwalent energii pierwotnej dla energii elektrycznej produkowanej przez elektrownię jądrową, przy założeniu średniej sprawności przemiany wynoszącej 33%.

Systemy pozasieciowe: Systemy autonomiczne pojedynczych gospodarstw domowych lub grup odbiorców.

Morska energia wiatrowa: Termin ten odnosi się do energii elektrycznej wytwarzanej przez turbiny wiatrowe zainstalowane na otwartych wodach, zwykle na oceanie.

Ropa naftowa: Wydobycie ropy naftowej obejmuje zarówno ropę konwencjonalną, jak i niekonwencjonalną. Produkty naftowe obejmują gaz rafineryjny, etan, gaz płynny, benzynę lotniczą, benzynę silnikową, paliwa do silników odrzutowych, naftę, benzynę/olej napędowy, ciężki olej opałowy, benzynę ciężką, benzynę lakową, smary, bitum, parafinę, woski i koks naftowy.

Inne części sektora energii: Termin ten obejmuje wykorzystanie energii przez sektory przemysłu przetwórczego oraz straty energii podczas przetwarzania energii pierwotnej w formę, która może być wykorzystana w końcowych sektorach zużywających energię. Obejmuje to straty w gazowniach, rafineriach ropy naftowej, przetwórstwie i skraplaniu węgla i gazu, produkcji biopaliw oraz produkcji wodoru i paliw na bazie wodoru. Obejmuje to również wykorzystanie energii na potrzeby własne w kopalniach węgla, przy wydobyciu ropy naftowej i gazu, przy bezpośrednim wychwytywaniu dwutlenku węgla z powietrza, przy produkcji biopaliw oraz przy wytwarzaniu energii elektrycznej i ciepłej. Do tej kategorii zalicza się również transfery i różnice statystyczne.

Wytwarzanie energii elektrycznej: Termin ten dotyczy zużycia paliw w elektrowniach, ciepłowniach i elektrociepłowniach (CHP). Uwzględnia to zarówno obiekty produkujące paliwa w ramach działalności podstawowej, jak i małe zakłady produkujące paliwa na własny użytek.

Zastosowania produkcyjne: Energia wykorzystana do celów gospodarczych w rolnictwie, przemyśle i usługach oraz wykorzystanie nieenergetyczne. Część zapotrzebowania na energię w sektorze transportu, np. w transporcie towarowym, można również uznać za zastosowanie produktywne, ale traktuje się ją oddzielnie.

Odnawialne źródła energii: Obejmują one bioenergię, energię geotermalną, hydroenergię, fotowoltaikę (PV), zogniskowaną energię słoneczną (CSP), energię wiatrową i morską (pływy i fale) wykorzystywaną do wytwarzania energii elektrycznej i ciepła.

Mieszkańcowie: Zużycie energii przez gospodarstwa domowe, w tym na potrzeby ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń, ogrzewania wody, oświetlenia, zasilania sprzętu AGD, urządzeń elektronicznych i urządzeń do gotowania.

Usługi: Energia zużywana w obiektach komercyjnych, np. hotelach, biurach, obiektach gastronomicznych, sklepach, a także w budynkach instytucjonalnych, np. szkołach, szpitalach, czy urzędach. Zużycie energii w usługach obejmuje zużycie na potrzeby ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń, ogrzewania wody, oświetlenia oraz zasilania urządzeń, sprzętu gospodarstwa AGD i sprzętu do gotowania.

Gaz łupkowy: Gaz ziemny znajdujący się w powszechnie występującej skale sklasyfikowanej jako łupki. Formacje łupkowe charakteryzują się niską przepuszczalnością, co oznacza, że zdolność gazu do przepływu przez skałę jest bardziej ograniczona niż w przypadku złoża konwencjonalnego. Gaz łupkowy wydobywa się na ogół metodą szczelinowania hydraulicznego.

Transport morski/żegluga: Ten podsektor transportu obejmuje zarówno żeglugę krajową, jak i międzynarodową oraz zużycie przez nie paliw przeznaczonych dla transportu morskiego. Żegluga krajowa obejmuje transport towarów lub osób na śródlądowych drogach wodnych oraz krajowe przewozy morskie (rozpoczynające się i kończące w tym samym kraju bez pośredniego portu zagranicznego). Żegluga międzynarodowa obejmuje ilości paliwa dostarczone statkom handlowym (w tym pasażerskim) o dowolnej przynależności państwowej w celu zużycia podczas międzynarodowych rejsów wiążących się z przewozem towarów lub pasażerów.

Fotowoltaika (PV): Energia elektryczna wytwarzana w ogniwach fotowoltaicznych.

Biomasa stała: Obejmuje ona węgiel drzewny, drewno opałowe, obornik, pozostałości rolnicze, odpady drzewne i inne odpady stałe.

Węgiel energetyczny: Rodzaj węgla wykorzystywany głównie do produkcji ciepła lub wytwarzania pary w elektrowniach oraz, w mniejszym stopniu, w przemyśle. Zazwyczaj węgiel energetyczny nie ma wystarczającej jakości do wykorzystania w produkcji stali.

Metan syntetyczny: Niskoemisyjny metan syntetyczny jest produkowany poprzez metanizację niskoemisyjnego wodoru i dwutlenku węgla ze źródła biogenicznego lub atmosferycznego.

Olej syntetyczny: Niskoemisyjny olej syntetyczny produkowany w procesie konwersji Fischera-Tropscha lub syntezy metanolu z gazu syntezowego, mieszaniny wodoru (H_2) i tlenu węgla (CO).

Całkowita podaż energii (CPE): Odpowiada wyłącznie popytowi krajowemu i jest podzielona na wytwarzanie energii elektrycznej i ciepłej, inne części sektora energii i całkowite zużycie końcowe.

Całkowite zużycie końcowe (TFC): Jest to suma zużycia w różnych sektorach zastosowania końcowego. TFC dzieli się na zapotrzebowanie na energię w następujących sektorach: przemysł (w tym produkcja i górnictwo), transport, budynki (w tym mieszkalne i usługowe) oraz inne (w tym rolnictwo i wykorzystanie nieenergetyczne). Nie obejmuje ono międzynarodowego bunkra morskiego i lotniczego, z wyjątkiem poziomu światowego, gdzie jest ono uwzględnione w sektorze transportu.

Całkowite końcowe zużycie energii (TFEC): Jest to zmienna określone przede wszystkim w celu śledzenia postępu w realizacji celu 7.2 Celów Zrównoważonego Rozwoju ONZ. Obejmuje ono całkowite zużycie końcowe (TFC) według sektorów zastosowania końcowego, ale nie obejmuje zużycia nieenergetycznego. Nie obejmuje ono międzynarodowego bunkra morskiego i lotniczego, z wyjątkiem poziomu światowego. Zazwyczaj jest ono wykorzystywane w równaniu służącym do obliczania udziału energii odnawialnej w całkowitym końcowym zużyciu energii (wskaźnik 7.2.1 Celów Zrównoważonego Rozwoju), gdzie TFEC występuje mianowniku.

Całkowite zapotrzebowanie na energię pierwotną (TPED): Zob. całkowita podaż energii.

Tradycyjne wykorzystanie biomasy stałej: Oznacza wykorzystania biomasy stałej w podstawowych technologiach, takich jak ognisko wykonane z trzech kamieni, często bez kominów lub z kominami o słabej sprawności.

Transport: Paliwa i energia elektryczna wykorzystywane w transporcie towarów lub osób w obrębie terytorium kraju, niezależnie od sektora gospodarki, w którym dana działalność ma miejsce. Obejmuje on paliwo i energię elektryczną dostarczaną na potrzeby pojazdów korzystających z dróg publicznych lub do pojazdów szynowych, paliwo dostarczane na potrzeby statków w żegludze krajowej, paliwo dostarczane na potrzeby samolotów w lotnictwie krajowym oraz energię zużywaną przy dostawie paliw rurociągami. Paliwo dostarczane do międzynarodowych bunkrów morskich i lotniczych jest raportowane wyłącznie na poziomie światowym, natomiast wyłącza się je z sektora transportu na poziomie krajowym.

Samochody ciężarowe: Termin ten obejmuje średnie samochody ciężarowe (masa brutto pojazdu 3,5-15 ton) i duże samochody ciężarowe (>15 ton).

Energia użytkowa: Termin ten odnosi się do energii, która jest dostępna dla użytkowników końcowych w celu zaspokojenia ich potrzeb. Innym określeniem tego terminu jest zapotrzebowanie na usługi energetyczne. W wyniku strat powstających przy przetwarzaniu w miejscu wykorzystania, ilość energii użytecznej jest niższa niż odpowiadające jej zapotrzebowanie na energię końcową dla większości technologii. Urządzenia wykorzystujące energię elektryczną często mają wyższą sprawność przemiany niż urządzenia wykorzystujące inne paliwa, co oznacza, że na jednostkę zużytej energii energia elektryczna może dostarczyć więcej usług energetycznych.

Wiatr: energia elektryczna wytwarzana przez turbiny wiatrowe z energii kinetycznej wiatru.

Drzewiaste uprawy energetyczne: Nasadzenia biomasy drzewnej o szybkiej rotacji do produkcji bioenergii, takie jak wierzba krzewiasta i miskant.

Zmienna energia odnawialna (VRE): Termin ten odnosi się do technologii, których maksymalna moc wyjściowa w dowolnym momencie zależy od dostępności zmiennych zasobów energii odnawialnej. VRE obejmuje szeroki wachlarz technologii, takich jak energia wiatrowa, fotowoltaika, elektrownie wodne, zogniskowana energia słoneczna (w przypadku których nie uwzględnia się magazynowania ciepła) oraz energia morska (pływy i fale).

Budynki przystosowane do zerowej emisji: Budynek przystosowany do zerowej emisji jest wysoce energooszczędny i albo bezpośrednio wykorzystuje energię odnawialną, albo korzysta z dostaw energii, które mogą być całkowicie zdekarbonizowane, takich jak dostawy energii elektrycznej lub ciepła z sieci miejskich.

Pojazdy zeroemisyjne (ZEV): Pojazdy, które można użytkować bez emisji CO₂ z rury wydechowej (pojazdy elektryczne o zasilaniu akumulatorowym i pojazdy z ogniwami paliwowymi).

Grupy regionalne i krajowe

Gospodarki rozwinięte: Grupa regionalna OECD oraz Bułgaria, Chorwacja, Cypr^{1,2}, Malta i Rumunia.

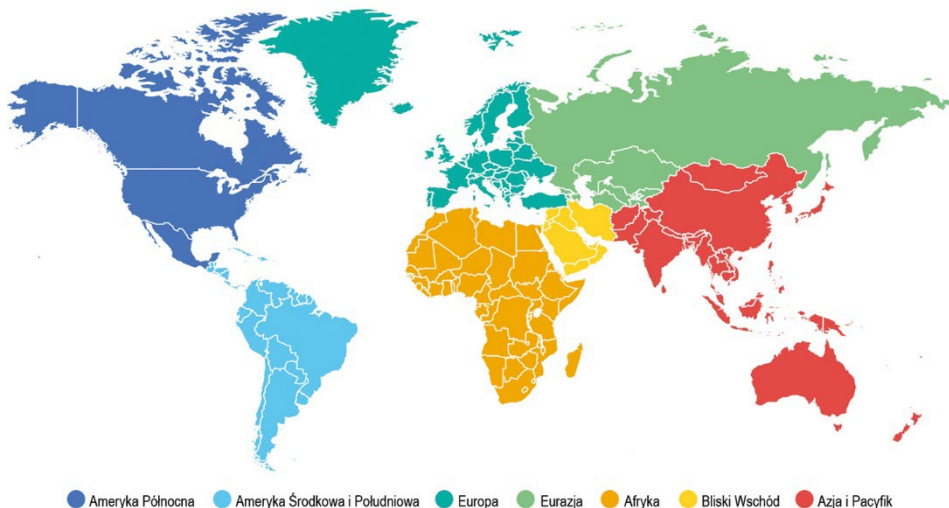
Afryka: Grupy regionalne Afryki Północnej i Afryki Subsaharyjskiej.

Azja i Pacyfik: Grupa regionalna Azji Południowo-Wschodniej oraz Australia, Bangladesz, Chiny, Indie, Japonia, Korea, Koreańska Republika Ludowo-Demokratyczna, Mongolia, Nepal, Nowa Zelandia, Pakistan, Sri Lanka, Chińskie Tajpej oraz inne kraje i terytoria Azji i Pacyfiku.³

Region Kaspijski: Armenia, Azerbejdżan, Gruzja, Kazachstan, Kirgistan, Tadżykistan, Turkmenistan i Uzbekistan.

Ameryka Środkowa i Południowa: Argentyna, Wielonarodowe Państwo Boliwii (Boliwia), Brazylia, Chile, Kolumbia, Kostaryka, Kuba, Curasao, Republika Dominikańska, Ekwador, Salwador, Gwatemala, Haiti, Honduras, Jamajka, Nikaragua, Panama, Paragwaj, Peru, Surinam, Trynidad i Tobago, Urugwaj, Boliwariańska Republika Wenezueli (Wenezuela) oraz inne kraje i terytoria Ameryki Środkowej i Południowej.⁴

Chiny: Chińska Republika Ludowa i Hongkong.



Wyjaśnienie: Niniejsza mapa nie przesądza o statusie lub suwerenności jakiegokolwiek terytorium, o wytyczeniu granic państwowych ani o nazwie jakiegokolwiek terytorium, miasta lub obszaru.

Kraje rozwijające się w Azji: Grupa regionalna Azji i Pacyfiku z wyłączeniem Australii, Japonii, Korei i Nowej Zelandii.

Rynki wschodzące i gospodarki rozwijające się: Wszystkie pozostałe kraje nieuwzględnione w ugrupowaniu regionalnym gospodarek rozwiniętych.

Eurazja: Grupa Regionu Kaspijskiego i Federacja Rosyjska (Rosja).

Europa: Grupa regionalna Unii Europejskiej oraz Albania, Białoruś, Bośnia i Hercegowina, Macedonia Północna, Gibraltary, Islandia, Izrael⁵, Kosowo, Czarnogóra, Norwegia, Serbia, Szwajcaria, Republika Mołdowy, Turcja, Ukraina i Wielka Brytania.

Unia Europejska: Austria, Belgia, Bułgaria, Chorwacja, Cypr^{1,2}, Czechy, Dania, Estonia, Finlandia, Francja, Niemcy, Grecja, Węgry, Irlandia, Włochy, Łotwa, Litwa, Luksemburg, Malta, Niderlandy, Polska, Portugalia, Rumunia, Słowacja, Słowenia, Hiszpania i Szwecja.

IEA (Międzynarodowa Agencja Energetyczna): Ugrupowanie regionalne OECD z wyłączeniem Chile, Kolumbii, Islandii, Izraela, Łotwy, Litwy i Słowenii.

Ameryka Łacińska: Grupa regionalna Ameryki Środkowej i Południowej oraz Meksyk.

Bliski Wschód: Bahrajn, Islamska Republika Iranu (Iran), Irak, Jordania, Kuwejt, Liban, Oman, Katar, Arabia Saudyjska, Syryjska Republika Arabska (Syria), Zjednoczone Emiraty Arabskie i Jemen.

Państwa spoza OECD: Wszystkie pozostałe kraje nieuwzględnione w ugrupowaniu regionalnym OECD.

Państwa spoza OPEC: Wszystkie pozostałe kraje nieuwzględnione w ugrupowaniu regionalnym OPEC.

Afryka Północna: Algieria, Egipt, Libia, Maroko i Tunezja.

Ameryka Północna: Kanada, Meksyk i Stany Zjednoczone.

OECD (Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju): Australia, Austria, Belgia, Kanada, Chile, Kolumbia, Czechy, Dania, Estonia, Finlandia, Francja, Niemcy, Grecja, Węgry, Islandia, Irlandia, Izrael, Włochy, Japonia, Korea, Łotwa, Litwa, Luksemburg, Meksyk, Niderlandy, Nowa Zelandia, Norwegia, Polska, Portugalia, Słowacja, Słowenia, Hiszpania, Szwecja, Szwajcaria, Turcja, Wielka Brytania i Stany Zjednoczone.

OPEC (Organizacja Krajów Eksportujących Ropę Naftową): Algieria, Angola, Republika Konga (Kongo), Gwinea Równikowa, Gabon, Islamska Republika Iranu (Iran), Irak, Kuwejt, Libia, Nigeria, Arabia Saudyjska, Zjednoczone Emiraty Arabskie oraz Boliwariańska Republika Wenezueli (Wenezuela).

Azja Południowo-Wschodnia: Brunei Darussalam, Kambodża, Indonezja, Laotańska Republika Ludowo-Demokratyczna (Laos), Malezja, Mjanma, Filipiny, Singapur, Tajlandia i Wietnam. Wszystkie te kraje są członkami Stowarzyszenia Narodów Azji Południowo-Wschodniej (ASEAN).

Afryka Subsaharyjska: Angola, Benin, Botswana, Kamerun, Republika Konga (Kongo), Wybrzeże Kości Słoniowej, Demokratyczna Republika Konga, Erytrea, Etiopia, Gabon, Ghana, Kenia, Mauritius, Mozambik, Namibia, Niger, Nigeria, Senegal, Republika Południowej Afryki, Sudan Południowy, Sudan, Zjednoczona Republika Tanzanii (Tanzania), Togo, Zambia, Zimbabwe oraz inne kraje i terytoria afrykańskie.⁶

Uwagi krajów

¹ Uwaga Turcji: Informacje w niniejszym dokumencie odnoszące się do „Cypru” dotyczą południowej części wyspy. Nie ma jednego organu reprezentującego zarówno tureckich, jak i greckich Cypryjczyków żyjących na wyspie. Turcja uznaje Turecką Republikę Cypru Północnego (TRNC). Do czasu znalezienia trwałego i sprawiedliwego rozwiązania w ramach Organizacji Narodów Zjednoczonych, Turcja zachowa swoje stanowisko dotyczące „kwestii cypryjskiej”.

² Uwaga wszystkich państw członkowskich Unii Europejskiej należących do OECD oraz Unii Europejskiej: Republika Cypryjska jest uznawana przez wszystkich członków Organizacji Narodów Zjednoczonych z wyjątkiem Turcji. Informacje zawarte w niniejszym dokumencie odnoszą się do obszaru, nad którym faktyczną kontrolę sprawuje rząd Republiki Cypryjskiej.

³ Dane indywidualne nie są dostępne i zostały oszacowane w sposób zagregowany dla następujących krajów: Afganistan, Bhutan, Wyspy Cooka, Fidzi, Polinezja Francuska, Kiribati, Makau (Chiny), Malediwy, Nowa Kaledonia, Palau, Papua Nowa Gwinea, Samoa, Wyspy Salomona, Timor Wschodni, Tonga i Vanuatu.

⁴ Dane indywidualne nie są dostępne i zostały oszacowane w sposób zagregowany dla następujących krajów: Anguilla, Antigua i Barbuda, Aruba, Bahamy, Barbados, Belize, Bermudy, Bonaire, Brytyjskie Wyspy Dziewicze, Kajmany, Dominika, Falklandy (Malwiny), Gujana Francuska, Grenada, Gwadelupa, Gujana, Martynika, Montserrat, Saba, Saint Eustatius, Saint Kitts i Nevis, Saint Lucia, Saint Pierre i Miquelon, Saint Vincent i Grenadyny, Saint Maarten, Turks i Caicos.

⁵ Dane statystyczne dotyczące Izraela są dostarczane przez odpowiednie władze izraelskie i na ich odpowiedzialność. Wykorzystanie takich danych przez OECD i/lub IEA pozostaje bez uszczerbku dla statusu Wzgórz Golan, Wschodniej Jerozolimy i izraelskich osiedli na Zachodnim Brzegu zgodnie z warunkami prawa międzynarodowego.

⁶ Dane indywidualne nie są dostępne i zostały oszacowane w sposób zagregowany dla następujących krajów: Burkina Faso, Burundi, Republika Zielonego Przylądka, Republika Środkowoafrykańska, Czad, Komory, Dżibuti, Królestwo Eswatini, Gambia, Gwinea, Gwinea-Bissau, Lesotho, Liberia, Madagaskar, Malawi, Mali, Mauretania, Reunion, Rwanda, Wyspy Świętego Tomasza i Książęca, Seszele, Sierra Leone, Somalia i Uganda.

Skróty i akronimy

AFOLU	rolnictwo, leśnictwo i inne formy użytkowania gruntów
APC	Casus Ogłoszonych Zobowiązań
ASEAN	Stowarzyszenie Narodów Azji Południowo-Wschodniej
BECCS	bioenergia wyposażona w CCUS
BEV	pojazdy elektryczne zasilane akumulatorami
CCUS	wychwytywanie, wykorzystywanie i składowanie dwutlenku węgla
UDW	usuwanie dwutlenku węgla
CFL	kompaktowa lampa fluorescencyjna
CH₄	metan
CHP	skojarzone wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej; czasami stosuje się termin kogeneracja
CNG	sprężony gaz ziemny
CO	tlenek węgla
CO₂	dwutlenek węgla
CO₂e	ekwiwalent dwutlenku węgla
COP	Konferencja Stron (UNFCCC)
CSP	zogniskowana energia słoneczna
DAC	bezpośrednie wychwytywanie z powietrza
DACCS	bezpośrednie wychwytywanie z powietrza z wychwytywaniem i składowaniem dwutlenku węgla
DER	rozproszone zasoby energetyczne
DSI	integracja po stronie zapotrzebowania
OSD	operator systemu dystrybucyjnego
DSR	reagowanie po stronie zapotrzebowania
EAF	elektryczne piece łukowe
EHOB	olej specjalnie ciężki i bitumy
ETP	Perspektywy dla Technologii Energetycznych
UE	Unia Europejska
EV	pojazd elektryczny
FCEV	pojazd elektryczny z ogniwem paliwowym
PKB	produkt krajowy brutto
GHG	gazy cieplarniane
GTL	gaz do płynów

HEFA	uwodornione estry i kwasy tłuszczowe
ICE	silnik spalinowy
IEA	Międzynarodowa Agencja Energetyczna
IIASA	Międzynarodowy Instytut Analizy Systemów Stosowanych
MFW	Międzynarodowy Fundusz Walutowy
IOC	międzynarodowy koncern naftowy
IPCC	Międzyrządowy Zespół do spraw Zmian Klimatu
LCC	Casus Niskiego Wykorzystania CCUS
LDV	pojazdy lekkie
LCV	lekki samochód dostawczy
LED	dioda emitująca światło
LNG	skroplony gaz ziemny
LPG	gaz skroplony
MEPS	minimalne normy charakterystyki energetycznej
NDC	Wkłady Ustalane na Poziomie Krajowym
AEJ	Agencja Energii Jądrowej (funkcjonująca w ramach OECD)
NGL	kondensat gazu ziemnego
NGV	pojazd na gaz ziemny
NOC	krajowa spółka naftowa
NO_x	tlenki azotu
N₂O	podtlenek azotu
NZE	Scenariusz zerowych emisji netto
OECD	Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju
OPEC	OPEC (Organizacja Krajów Eksportujących Ropę Naftową):
PHEV	pojazdy hybrydowe typu plug-in
PLDV	lekki pojazd pasażerski
PM	pył zawieszony
PM_{2.5}	drobny pył zawieszony
PPP	parytet siły nabywczej
PV	fotowoltaika
BiR	badania i rozwój
BRiD	badania, rozwój i demonstracja
SAF	zrównoważone paliwo lotnicze
CZR	Cele Zrównoważonego Rozwoju (Organizacji Narodów Zjednoczonych)
SO₂	dwutlenek siarki
SR1.5	Specjalny Raport IPCC w sprawie skutków globalnego ocieplenia o 1,5°C powyżej poziomu sprzed epoki przemysłowej
STEPS	Scenariusz Ogłoszonych Polityk
PiD	przesył i dystrybucja
TES	całkowita podaż energii
TFC	całkowite zużycie końcowe

TFEC	całkowite końcowe zużycie energii
TPED	całkowite zapotrzebowanie na energię pierwotną
UEC	jednostkowe zużycie energii
ONZ	Organizacja Narodów Zjednoczonych
UNDP	Program Narodów Zjednoczonych do spraw Rozwoju
UNEP	Program Środowiskowy Organizacji Narodów Zjednoczonych
UNFCCC	Ramowa konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu
UK	Wielka Brytania
USA	Stany Zjednoczone
VRE	zmienna energia odnawialna
WEO	<i>World Energy Outlook</i>
WHO	Światowa Organizacja Zdrowia
ZEV	pojazd zeroemisyjny

Rozdział 1: Ogłoszone zobowiązania dotyczące zerowej emisji netto oraz sektor energii

climatewatchdata (2021), <https://www.climatewatchdata.org/ndc-overview>.

Komisja Europejska (2018), 2018 – *Vision for a long-term EU strategy for reducing greenhouse gas emissions*, https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en.

IEA (Międzynarodowa Agencja Energetyczna) (2021), *Global Energy Review 2021*, <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>.

- (2020a), *Sustainable Recovery*, <https://www.iea.org/reports/sustainable-recovery/a-sustainable-recovery-plan-for-the-energy-sector>.

- (2020b), *World Energy Outlook 2020*, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>.

- (2020c), *Energy Technology Perspectives 2020*, <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>.

- (2020c), *World Energy Balances 2020 edition: database documentation*, http://wds.iea.org/wds/pdf/WORLDBAL_Documentation.pdf.

- (2020e), *Special Report on Clean Energy Innovation*, <https://www.iea.org/reports/clean-energy-innovation>.

IPCC (Międzyrządowy Zespół do spraw Zmian Klimatu) (2018), *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels*, IPCC, <https://www.ipcc.ch/sr15/>.

WRI i WBCSD (World Resources Institute i World Business Council for Sustainable Development) (2004), *The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard*, WRI i WBCSD, Waszyngton, DC, <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>.

Rozdział 2: Globalna ścieżka prowadząca do zerowych emisji CO₂ netto w 2050 r.

Amann, M. i in. (2011), „Cost-effective control of air quality and greenhouse gases in Europe: Modelling and policy applications”, *Environmental Modelling*, t. 26, s. 1489-1501.

Anderson i in. (2013), *Getting to know GIMF: The Simulation Properties of the Global Integrated Monetary and Fiscal Model*, International Monetary Fund, Waszyngton, DC, <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2013/wp1355.pdf>.

Assemblée Nationale (2021), (Projekt ustawy mającej na celu zastąpienie lotów krajowych przejazdami pociągami), *PROPOSITION DE LOI visant à remplacer les vols intérieurs par le train*, https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/textes/l15b2005_proposition-loi.

Aydin, E., D. Brounen i N. Kok (2018), „Information provision and energy consumption: Evidence from a field experiment”, *Energy Economics*, t. 71, s. 403-411, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.03.008>.

Byars, M., Y. Wei i S. Handy (2017), *State-Level Strategies for Reducing Vehicle Miles of Travel*, <https://bit.ly/2LvA6nn>.

Climate Assembly United Kingdom (2020), *The path to net zero*, <https://www.climateassembly.uk/report/read/final-report.pdf>.

Convention Citoyenne pour le Climat (2021), (Propozycje Obywatelskiej Konwencji Klimatycznej), *Les Propositions de la Convention Citoyenne pour le Climat*, <https://propositions.conventioncitoyennepourleclimat.fr/>.

DEFRA (Ministerstwo Środowiska, Żywności i Spraw Wiejskich Wielkiej Brytanii) (2012), *London congestion charge detailed assessment*, https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat09/0505171128_London_Congestion_Charge_Detailed_Assessment.doc.

Komisja Europejska (2021), *Urban Access Regulations in Europe*, <https://urbanaccessregulations.eu/countries-mainmenu-147>.

Frank, S. (2021), „Land-based climate change mitigation potentials within the agenda for sustainable development”, *Environmental Research Letters*, t. 16/2, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abc58a>.

IEA (Międzynarodowa Agencja Energetyczna) (2021), *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, IEA, <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>.

- (2020a), *World Energy Balances 2020 edition: database documentation*, http://wds.iea.org/wds/pdf/WORLDBAL_Documentation.pdf.

- (2020b), *Outlook for Biogas and Biomethane: Prospects for organic growth*, <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth>.

- (2020c), *World Energy Investment, 2020*, <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2020>.

- (2020d), *Energy Technology Perspectives 2020: Special Report on Clean Energy Innovation*, <https://www.iea.org/reports/clean-energy-innovation>.

- (2019), *The Future of Rail*, <https://www.iea.org/reports/the-future-of-rail>.

IMF (Międzynarodowy Fundusz Walutowy) (2020a), *June 2020: A Crisis Like No Other, An Uncertain Recovery*,
<https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/WEO/2020/Update/June/English/WEOENG202006.ashx>

- (2020b), *World Economic Outlook Database*, wydanie kwiecień 2020 r., Waszyngton DC.

IPCC (Międzyrządowy Zespół do spraw Zmian Klimatu) (2019), *Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems*,
<https://www.ipcc.ch/srcl/>.

- (2018), *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development and efforts to eradicate poverty*, <https://www.ipcc.ch/sr15/>.

- (2014), *Climate Change 2014: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*,
<https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>.

Jochem i in. (2020), „Does free-floating carsharing reduce private vehicle ownership? The case of SHARE NOW in European cities”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, t. 141, s. 373-295, <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.09.016>.

Laxton, D. i in. (2010), *The Global Integrated Monetary and Fiscal Model (GIMF) – Theoretical Structure*, Międzynarodowy Fundusz Walutowy, Waszyngton, DC, https://www.imf.org/~media/Websites/IMF/imported-full-text-pdf/external/pubs/ft/wp/2010/_wp1034.ashx.

Martin, Shaheeni Lidiker (2010), „Carsharings impact on household vehicle holdings: Results for a North American shared-use vehicle survey”, przedstawiony na 89. Rocznym Spotkaniu Rady Badań nad Transportem, Waszyngton DC, <https://doi.org/10.3141/2143-19>.

Newgate Research i Cambridge Zero (2021), *Net Zero Public Dialogue*,
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/969401/net-zero-public-dialogue.pdf.

Oxford Economics (2020), *Oxford Economics Global Economic Model*, (baza danych),
<https://www.oxfordeconomics.com/global-economic-model>, aktualizacja sierpień 2020 r., Oxford.

TFL (Transport for London) (2021), *Congestion charge factsheet*, <https://content.tfl.gov.uk/congestion-charge-factsheet.pdf>.

Tools of Change (2014), *Stockholm's Congestion Pricing*, <https://www.toolsofchange.com/userfiles/Stockholm%20Congestion%20Pricing%20-%20FINAL%202014.pdf>.

UNDESA (Departament Spraw Gospodarczych i Społecznych ONZ) (2019), *2019 Revision of World Population Prospects*, <https://population.un.org/wpp/>.

Wu, W. H. (2019), „Global advanced bioenergy potential under environmental protection policies and societal transformation measures”, *GCB Bioenergy*, t. 11, s. 1041-1055, <https://doi.org/10.1111/gcbb.12614>.

Rozdział 3: Ścieżki sektorowe prowadzące do zerowych emisji netto do 2050 r.

IEA (Międzynarodowa Agencja Energetyczna) (2021a), *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>.

- (2021b), *Global EV Outlook 2020*, <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>.

- (2020a), *The Oil and Gas Industry in Energy Transitions*, <https://www.iea.org/reports/the-oil-and-gas-industry-in-energy-transitions>.

- (2020b), *Energy Technology Perspectives 2020*, IEA, <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>.

- (2019), *Nuclear Power in a Clean Energy System*, <https://www.iea.org/reports/nuclear-power-in-a-clean-energy-system>.

UNCTAD (Konferencja Narodów Zjednoczonych ds. Handlu i Rozwoju) (2018), *Review of Maritime Transport 2018*, UNCTAD, https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2018_en.pdf.

Rozdział 4: Szersze implikacje osiągnięcia zerowych emisji netto

Carbon Engineering (2021), <https://carbonengineering.com/our-story/>.

Diaz Anadon, L. (2012), „Missions-oriented RD&D institutions in energy between 2000 and 2010: A comparative analysis of China, the United Kingdom, and the United States”, *Research Policy*, t. 41, s. 1742-1756, <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.02.015>.

European Cement Research Academy (2012), *ECRA CCS Project: Report on phase III*, https://ecraonline.org/fileadmin/redaktion/files/pdf/ECRA_Technical_Report_CCS_Phase_III.pdf.

Feyisa, Dons i Meilby (2014), „Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: an example from Addis Ababa”, *Landscape and Urban Planning*, t. 123, s. 87-95, <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.12.008>.

GLPGP (The Global LPG Partnership) (2020), *Assessing Potential for BioLPG Production and use within the Cooking Energy Sector in Africa*, <https://mecs.org.uk/wp-content/uploads/2020/09/GLPGP-Potential-for-BioLPG-Production-and-Use-as-Clean-Cooking-Energy-in-Africa-2020.pdf>.

Greco, A. i in. (2019), „A review of the state of the art of solid-state caloric cooling processes at room-temperature before 2019”, *International Journal of Refrigeration*, s. 66-88, <https://doi.org/10.1016/j.jirefrig.2019.06.034>.

Gross, R. (2018), „How long does innovation and commercialisation in the energy sector take? Historical case studies of the timescale from invention to widespread

commercialisation in the energy supply and end-use technology”, *Energy Policy*, t. 123, s. 682-299, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.061>.

IEA (Międzynarodowa Agencja Energetyczna) (2021a), *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>.

- (2021b), *Climate Resilience*, <https://www.iea.org/reports/climate-resilience>.

- (2021c), *Enhancing Cyber Resilience in Electricity Systems*, <https://www.iea.org/reports/enhancing-cyber-resilience-in-electricity-systems>.

- (2021d), *Conditions and requirements for the technical feasibility of a power system with a high share of renewables in France towards 2050*, <https://www.iea.org/reports/conditions-and-requirements-for-the-technical-feasibility-of-a-power-system-with-a-high-share-of-renewables-in-france-towards-2050>.

- (2020a), *World Energy Investment, 2020*, <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2020>.

- (2020b), *Sustainable Recovery: World Energy Outlook Special Report*, <https://www.iea.org/reports/sustainable-recovery>.

- (2020c), *Energy Technology Perspectives: Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage*, <https://www.iea.org/reports/ccus-in-clean-energy-transitions>.

- (2020d), *Outlook for Biogas and Biomethane: Prospects for organic growth*, <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth>.

- (2020e), *The Oil and Gas Industry in Energy Transitions*, <https://www.iea.org/reports/the-oil-and-gas-industry-in-energy-transitions>.

- (2020f), *World Energy Outlook 2020*, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>.

- (2020g), *The Role of CCUS in Low-Carbon Power Systems*, <https://www.iea.org/reports/the-role-of-ccus-in-low-carbon-power-systems>.

- (2020h), *Power Systems in Transition*, <https://www.iea.org/reports/power-systems-in-transition/electricity-security-matters-more-than-ever>.

- (2020i), *Energy Technology Perspectives 2020: Special Report on Clean Energy Innovation*, <https://www.iea.org/reports/clean-energy-innovation>.

- (2019a), *The Future of Hydrogen*, <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>.

- (2019b), *Offshore Wind Outlook 2019*, <https://www.iea.org/reports/offshore-wind-outlook-2019>.

- (2017), *Energy Access Outlook 2017: from Poverty to Prosperity: World Energy Outlook Special Report*, <https://www.iea.org/reports/energy-access-outlook-2017>

Kamaya, N. (2011), „A lithium superionic conductor”, *Nature Materials*, s. 682-686, <https://doi.org/10.1038/nmat3066>.

Liquid Gas Europe (2021), *BioLPG: A Renewable Pathway Towards 2050*, <https://www.liquidgaseurope.eu/news/biolpg-a-renewable-pathway-towards-2050>.

Malhotra, A. i T. Schmidt (2020), „Accelerating Low-Carbon Innovation”, *Joule*, s. 2259-2267, <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.09.004>.

Material Economics (2019), *Industrial Transformation 2050: Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry*, University of Cambridge for Sustainability Leadership, Cambridge, Wielka Brytania.

Mazzucato, M. (2018), „Mission-oriented Innovation Policies: Challenges and Opportunities”, *Industrial and Corporate Change*, t. 27/5, s. 803-815, <https://doi.org/10.1093/icc/dty034>.

NASEO i Energy Futures Initiative (2021), *United States Energy & Employment Report*, <https://www.usenergyjobs.org/>.

AEJ (Agencja Energii Jądrowej) (2016), *Cost Benchmarking for Nuclear Power Plant Decommissioning*, <https://doi.org/10.1787/ace0e3b-en>.

OECD (Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju) (2020), *Environmentally related tax revenue*, OECD Statistics, <https://stats.oecd.org/>.

- (2015), *The Economic Consequences of Climate Change*, <https://www.oecd.org/env/the-economic-consequences-of-climate-change-9789264235410-en.htm>.

Tenova (2018), HYL News, https://www.tenova.com/fileadmin/user_upload/HYL_News_-_December_2018.pdf.

Victor, D., Geels, F. i S. Sharpe (2019), *Accelerating the Low Carbon Transition: The case for stronger, more targeted and co-ordinated international action*, The Energy Transitions Commission, Londyn.

Zemships (2008), *One Hundred Passengers and Zero Emissions: The first-ever passenger vessel to sail propelled by fuel cells*, <https://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.s>.

Załącznik B: Koszty technologii

IEA (Międzynarodowa Agencja Energetyczna) (2020), *World Energy Outlook 2020*, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>.

- (2019), *Offshore Wind Outlook 2019*, IEA, Paryż, <https://www.iea.org/reports/offshore-wind-outlook-2019>.

IRENA (Międzynarodowa Agencja Energii Odnawialnej) (2020), *Renewable Costing Alliance*, IRENA, Abu Dhabi, <https://www.irena.org/statistics>, dostęp 15 lipca 2020 r.

Polish translation of IEA (2021) *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector*

Polskie tłumaczenie raportu *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector* zostało przetłumaczone z tekstu angielskiego, który jest oficjalną wersją tej publikacji. Niniejszy raport został pierwotnie napisany w języku angielskim. Chociaż dłożono wszelkich starań, aby tłumaczenie to było jak najdokładniejsze, mogą wystąpić pewne drobne różnice pomiędzy nim a wersją oryginalną.

This publication reflects the views of the IEA Secretariat but does not necessarily reflect those of individual IEA member countries. The IEA makes no representation or warranty, express or implied, in respect of the publication's contents (including its completeness or accuracy) and shall not be responsible for any use of, or reliance on, the publication. Unless otherwise indicated, all material presented in figures and tables is derived from IEA data and analysis.

This publication and any map included herein are without prejudice to the status of or sovereignty over any territory, to the delimitation of international frontiers and boundaries and to the name of any territory, city or area.

IEA. All rights reserved.

IEA Publications

International Energy Agency

Website: www.iea.org

Contact information: www.iea.org/about/contact

Typeset in France by IEA - February 2022

Cover design: IEA

led