

Kompendium wiedzy o energii i klimacie



Instytut Fizyki Molekularnej
Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu

pod redakcją
dr inż. Magdaleny Knapkiewicz



Kompendium wiedzy o energii i klimacie

Praca zbiorowa pracowników naukowych
Instytutu Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu
pod redakcją dr inż. Magdaleny Knapkiewicz

Poznań 2024

Redaktor: dr inż. Magdalena Knapkiewicz (knapkiewicz@ifmpan.poznan.pl)

Konsultacja merytoryczna: dr inż. Paweł Gajda
Wydział Energetyki i Paliw
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Korekta: Zuzanna Górską

Prawa autorskie: Instytut Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk
ul. Mariana Smoluchowskiego 17, 60-179 Poznań
Poznań 2024
Wszelkie prawa zastrzeżone

ISBN: 978-83-968462-4-2

„Kompendium wiedzy o energii i klimacie” powstało w ramach realizacji przedsięwzięcia pn.: **„Energia i Klimat – Wojewódzki Konkurs Wiedzy o Wpływie Energetyki na Klimat”** realizowanego przez Instytut Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk, a dofinansowanego ze środków Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Poznaniu oraz Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (umowa dotacji numer 11642/U/400/980/2023 z dnia 30.10.2023 r.)



NARODOWY FUNDUSZ
OCHRONY ŚRODOWISKA
i GOSPODARKI WODNEJ



Ministerstwo
Klimatu i Środowiska

Wydawca: Instytut Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk
ul. Mariana Smoluchowskiego 17, 60-179 Poznań

Rok wydania: 2024

SPIS TREŚCI

	WSTĘP	5
1	ROZDZIAŁ 1. <i>Dorota Dardas</i> Sposoby szukania informacji i umiejętność jej weryfikacji	6
2	ROZDZIAŁ 2. <i>Natalia Bielejewska</i> Energia od podstaw	18
3	ROZDZIAŁ 3. <i>Karol Synoradzki</i> Energia w liczbach	27
4	ROZDZIAŁ 4. <i>Magdalena Knapkiewicz</i> Zużycie energii w Polsce	38
5	ROZDZIAŁ 5. <i>Magdalena Knapkiewicz</i> Wpływ gazów cieplarnianych na temperaturę Ziemi	46
6	ROZDZIAŁ 6. <i>Magdalena Knapkiewicz</i> Światowe i polskie emisje CO ₂	57
7	ROZDZIAŁ 7. <i>Magdalena Knapkiewicz</i> Statystyka i przewidywania dotyczące zmian klimatu	66
8	ROZDZIAŁ 8. <i>Magdalena Knapkiewicz</i> Źródła emisji gazów cieplarnianych	75
9	ROZDZIAŁ 9. <i>Magdalena Knapkiewicz i Natalia Bielejewska</i> Zalety i wady energetyki odnawialnej i nieodnawialnej	85
10	ROZDZIAŁ 10. <i>Sylvia Zięba</i> Energetyka jądrowa	100
11	ROZDZIAŁ 11. <i>Adam Ostrowski</i> Wodór	111
12	ROZDZIAŁ 12. <i>Łukasz Lindner</i> Transformacja energetyczna Wielkopolski Wschodniej	122
13	ROZDZIAŁ 13. <i>Iwona Olejniczak</i> Razem dla lepszego jutra	135
	PODSUMOWANIE	150



WSTĘP

Jeżeli, podobnie jak ja, chcesz żyć w sprzyjających dla naszego zdrowia i funkcjonowania warunkach środowiskowych, to zachęcam Cię do przeczytania tego kompendium. Omówiliśmy tutaj niektóre zależności istniejące pomiędzy sposobem, w jaki pozyskujemy i przetwarzamy energię, a stanem klimatu. Każdy chce żyć na swój wymarzony sposób, co często oznacza dla nas wygodnie, interesująco i w dobrobycie, lecz nie będzie to możliwe, jeśli temperatura na Ziemi nie przestanie wzrastać.

Kompendium to nie ma na celu straszenia wizją katastrofy klimatycznej, lecz zachęcić do próbowania nowych, korzystnych dla środowiska rozwiązań. Jako naukowiec koncentrowałam się na przedstawieniu aktualnych wyników badań i faktów dotyczących zachodzących w świecie zmian, aby zainspirować do działania i dalszego poszerzania wiedzy. Współautorami są moi koledzy i koleżanki z Instytutu Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk, którzy tak jak ja zainteresowani są, aby pogłębiać i przekazywać wiedzę, m.in. z zakresu dostępnych możliwości rozwoju technologii energetyki odnawialnej.

Z kompendium tego dowiesz się, co to jest energia i jakie są jej rodzaje, czym jest klimat i jak zależy on od emisji gazów cieplarnianych. Przeczytasz tutaj o energetyce odnawialnej i nieodnawialnej, o wykorzystaniu wodoru w energetyce przyszłości oraz o transformacji energetycznej Wielkopolski. Nauczysz się jak szukać i weryfikować informacje dostępne w sieci oraz jak działać na rzecz ochrony klimatu dla wspólnej korzyści.

dr inż. Magdalena Knapkiewicz





Sposoby szukania informacji i umiejętność jej weryfikacji

dr inż. Dorota Dardas



ROZDZIAŁ 1

W tym rozdziale dowiesz się, jak w gąszczu informacji dostępnych w Internecie odnaleźć te rzetelne i jakie pułapki podczas ich poszukiwania możesz napotkać.

W dzisiejszym świecie przyzwyczailiśmy się do niemal nieprzerwanego dostępu do informacji używając na co dzień telefonu komórkowego z dostępem do Internetu. Natomiast sposób zdobywania wiedzy jeszcze za czasów młodości Twoich rodziców czy dziadków był zupełnie inny. Wówczas oprócz przekazu telewizyjnego i radiowego, głównie opierał się na źródłach pisanych.

Zapisy informacji czy naszych myśli były konsekwencją rozwinięcia się sposobów komunikacji w czasach prehistorycznych, kiedy to ważne było wypracowanie metod wzajemnej współpracy. Kompetencje nabywało się wówczas głównie poprzez doświadczenia i obserwacje, przekazując ustnie zdobytą wiedzę, z pokolenia na pokolenie. Od zarania dziejów kwestia utrwalania, zachowywania i przekazywania informacji była sporym wyzwaniem dla człowieka¹. Potrzeba utrwalenia doświadczanej rzeczywistości zachowała się, np. w odkrytych grafikach naskalnych w postaci **obrazów**, informacjach wyrytych w kamieniu, na złotych płytach czy kaligrafowanych na papirusie zapisach symbolicznych, w postaci **piktogramów**², które w formach dostosowanych do aktualnych potrzeb i celów stosowane są do dziś. Kolejnym krokiem było zastosowanie **alfabetu**, co pozwalało na zapisywanie pełnych

1 Pogonowski J., *Językoznawstwo ogólne*, <https://logic.amu.edu.pl/images/8/80/Jo05b.pdf>

2 Comrie B., Matthews S., Polinsky M., *Atlas języków. Pochodzenie i rozwój języków świata*. Poznań 1998.



zdań, refleksji, a także pojęć bardziej abstrakcyjnych³. Dzięki temu można było utrwalić dla potomności najważniejsze wydarzenia, dzieła, dokonania czy przemyslenia. Jak pewnie się domyślacie, na początku wszystko zapisywane było ręcznie, także kopie powstawały tak samo – przez monotonne, skrupulatne przepisywanie oryginalnych treści. Dostępność do zawartej w nich wiedzy nadal była bardzo ograniczona, ze względu na wąską grupę osób posiadających umiejętność pisania i czytania. Zainteresowanych historią piśmienictwa zachęcam do skorzystania z zamieszczonych w przypisach źródeł.

Przełomowym odkryciem okazało się wynalezienie **ruchomych czcionek** przez Gutenberga, które pozwoliło na znaczne przyspieszenie procesu publikowania i rozpowszechniania treści pisanych. Pomimo, że w tamtych czasach nadal tylko niektóre grupy społeczne potrafiły czytać, to i tak zwiększenie dostępności słowa pisanego miało ogromny wpływ na zmianę kształtu kultury europejskiej, a także na rozwój samego czytelnictwa. Pierwszą wydrukowaną przez Gutenberga **książką** była Biblia w 1455 r.⁴ W Polsce natomiast Kasper Straube w Krakowie założył pierwszą drukarnię działającą w latach 1473-1477 i wydał, m.in.: *Almanach Cracoviense ad annum 1474* (kalendarz ścienny wydany w 1473 r.), *Opus restitutionum* (dzieło o lichwie i odszkodowaniach). Jeżeli chodzi o gazety, to w Europie zaczęły się ukazywać w 1609 r. W Polsce był to wydawany w Gdańsku tygodnik *Wöchentliche Zeitung* od 1618 r., a pierwszą zachowaną gazetą opublikowaną w języku polskim był *Merkuriusz Polski dzieje wszystkiego świata w sobie zamykający dla informacji pospolitej*, wydany po raz pierwszy w Krakowie w 1661 r. Z kolei jedną z pierwszych powszechnych encyklopedii była wydana we Francji w 1772 r. *Encyklopedia albo słownik rozumowany nauk, sztuk i rzemiosł*, licząca 28 tomów pod redakcją Jean’a d’Alembert i Denisa Diderot.⁵ Można powiedzieć, że była to ówczesna, skromniejsza, wersja dzisiejszej cyfrowej Wikipedii.

³ Diringer D., *Alfabet czyli klucz do dziejów ludzkości*. Warszawa 1972.

⁴ Dąbrowski J., Siniarska-Czaplicka J., *Rękodzieło Papiernicze*. Warszawa 1991.

⁵ Muzeum Narodowe we Wrocławiu, <https://mnwr.pl/intrygujace-wielka-encyklopedia-francuska/>



Poszukiwanie informacji, odkryć naukowych i technicznych od tamtej pory było skoncentrowane głównie na źródłach pisanych udostępnianych w bibliotekach, archiwach, prywatnych kolekcjach i w ograniczonej ilości dostępnych także w sprzedaży. Dotarcie do wielu źródeł, analiza danych i ich interpretacja wymagała dużego nakładu czasu i determinacji.

Kolejnym rewolucyjnym krokiem było odkrycie możliwości zdalnego przekazywania informacji w postaci **telegrafu**, a niedługo później **radia**. Choć w 1909 r. Guglielmo Marconi dostał nagrodę Nobla za wkład w rozwój telegrafii bezprzewodowej, to z kolei w 1943 r. sąd patentowy przyznał prawa patentowe Nikoli Tesli. Trzecim wynalazcą pretendującym do roli twórcy radia jest Aleksander Popow, rosyjski fizyk, który najpierw w 1895 r. opublikował pracę na ten temat, a następnie w 1896 r. również nawiązał łączność radiową. Natomiast pierwsza **transmisja telewizyjna** miała miejsce w 1926 r. w Londynie. Telewizja stała się kolejnym istotnym źródłem rozpowszechniania informacji.

Bezspornie bezprecedensowe w historii przetwarzania i utrwalania informacji było **stworzenie komputera**. Przyjmuje się, że początki sięgają lat 1943-1945, kiedy to powstała maszyna nazwana ENIAC. Pierwsze komputery były ogromnymi urządzeniami ważącymi kilka ton, zajmującymi całe pomieszczenia i mającymi znacznie ograniczoną moc obliczeniową w porównaniu do dzisiejszych. Komputery pozwoliły z kolei na powstanie połączenia sieciowego, które stało się nowym sposobem przekazywania informacji i komunikowania się. Założnikiem dzisiejszego **Internetu** był ARPANET (*ang.* Advanced Research Projects Agency Network – Sieć Agencji Zaawansowanych Projektów Badawczych) uruchomiona w 1969 r. Nad jej rozwojem współpracowali naukowcy z różnych amerykańskich uczelni i działała ona aż do 1990 r. Natomiast powstanie w 1990 r. podstaw języka HTML i pierwszej strony internetowej, których twórcą był Tim Berners-Lee, jak i dwa lata później pierwszej przeglądarki Mosaic na Uniwersytecie Illinois, ułożyły drogę do Internetu, jaki dzisiaj znamy⁶.

⁶ <https://www.orange.pl/poradnik/twoj-internet/jak-to-sie-zaczelo-czyli-historia-internetu/>



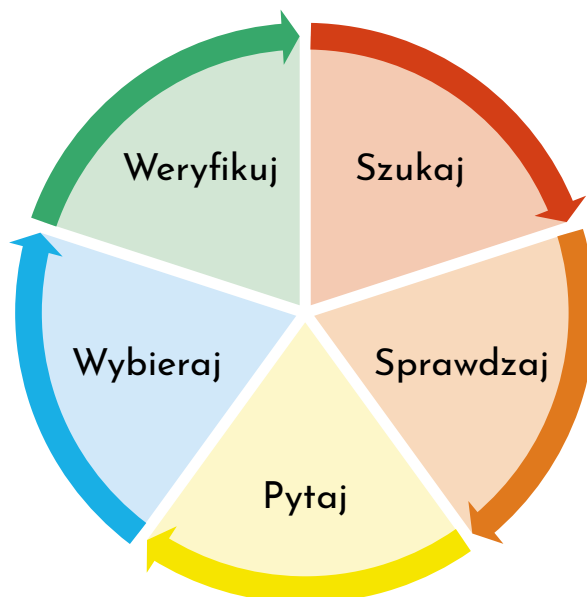
W obecnych czasach poszukiwanie informacji w Internecie jest powszechną praktyką, ponieważ jest to szybki i skuteczny sposób dotarcia do dużej ilości źródeł informacji. Pierwszym krokiem jest zazwyczaj wpisanie zapytania w wyszukiwarkę internetową. W wynikach wyszukiwarki pojawi się lista kilku, kilkunastu lub kilkudziesięciu stron z odniesieniem do naszego zapytania. Czy zawsze jednak będą one zawierały wartościowe treści, a zawarte w nich informacje oparte będą na wiarygodnych źródłach? Może już wiecie z własnego doświadczenia, że niekoniecznie. Przykładowo Wikipedia, która opiera się na tym, że każdy użytkownik może zamieścić hasło, początkowo zawierała bardzo dużo błędów. Dlatego też na swojej stronie zaznaczają: „Wikipedię tworzy grono wolontariuszy. Nikt nie weryfikuje ich wiedzy ani zainteresowań, a wielu z nich nie ma formalnego wykształcenia w dziedzinie, o której piszą. Z tego powodu, wprowadzając nową informację edytor musi podać źródło, z którego została zaczerpnięta. Jeżeli publikacja, na której wikipedysta się opierał, zawiera błąd, jest możliwe, że trafi on do encyklopedii. Wikipedia nigdy nie będzie doskonała. Świat się rozwija, a wraz z nim nauka. Generuje to nowe porcje informacji, a te starsze niejednokrotnie się dezaktualizują. Wolontariusze nie mają tyle czasu, by nadążyć za rozwojem wiedzy. Dlatego nieuniknione jest napotykanie błędów, niedomówień czy półprawd w artykułach. Źródła w treści podane są właśnie po to, by czytelnik mógł sam ocenić, czy dana informacja jest wiarygodna, czy też nie. Wikipedyści, Wikimedia Polska oraz Wikimedia Foundation są świadomi, że Wikipedia nie jest pozbawiona błędów, ale dążą do tego by jakość artykułów była jak najwyższa.”⁷

Powyższy dość skrótowy opis sposobów przekazywania informacji na przestrzeni wieków ma służyć wyłącznie ogólnemu rozeznaniu tematu. Nie jest ważne, abyś Czytelniku, zapamiętywał przytoczone wydarzenia, ale zrozumiał jak duża zaszła zmiana w metodologii utrwalania i dzielenia się różnymi treściami. Obecnie doszliśmy do punktu, w którym problemem nie jest dostęp do informacji, ale paradoksalnie jej nadmiar. Dzisiaj wyzwaniem

⁷ https://pl.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Najcz%C4%99stsze_nieporozumienia



okazuje się **weryfikacja**, czyli sprawdzenie wiarygodności i prawdziwości dostępnych informacji i danych. Dlatego podczas wyszukiwania informacji warto, a nawet trzeba zachować czujność i zastosować wielowymiarowe podejście (**Rys. 1**).



Rys. 1 Zasady poszukiwania informacji w Internecie. Szukaj, sprawdzaj, pytaj, wybieraj i ponownie sprawdzaj, czyli weryfikuj!

Jak szukać wiarygodnych informacji? Najpierw warto zastanowić się, na czym nam zależy i **odpowiednio sformułować hasło lub pytanie**. Następnie warto przetestować wyszukiwanie dla dłuższej frazy. Odpowiedzi na dane pytanie powinno się sprawdzać na co najmniej kilku stronach. Spróbuj zagadnienie, którego szukasz, opisać w inny sposób, szukaj synonimów, terminów powiązanych, wyrazów bliskoznacznych. Czytaj uważnie, wyłapuj terminy, zwracaj uwagę na nowe słowa, które mogą pomóc Ci w tzw. „researchu”, czyli rozeznaniu tematu, wyszukiwaniu informacji i źródeł na dany temat. **Sprawdzaj, kto jest autorem strony**. To pozwoli wstępnie zweryfikować poprawność znalezionych informacji. Jeśli w kilku wiarygodnych źródłach odpowiedzi brzmią tak samo, to znaczy, że prawdopodobieństwo na otrzymanie poprawnych informacji jest całkiem duże. Jeśli

odpowiedzi się różnią, to trzeba sprawdzać kolejne źródła. Bądź wyczulony na to, na jakich odbiorców nastawiony jest portal, by mieć pewność, że fakty nie zostały w sposób subiektywny przedstawione. **Staraj się wybierać serwisy specjalistyczne.** Portale prowadzone przez instytucje, uczelnie, szkoły, które zajmują się daną dziedziną są zazwyczaj rzetelnymi źródłami. Warto czasem rozpocząć szukanie od małych fragmentów wiedzy, dokładnie opisanych szczegółów bądź pojedynczych zagadnień. Składając potem te precyzyjnie opisane fragmenty, możesz prędzej i lepiej przyswoić całość zagadnienia. Sytuacja może być też całkowicie odwrotna. Szukając bardzo szczegółowego zagadnienia, wysoce wyspecjalizowanego tematu, wąskiej dziedziny, być może nic nie będziesz mógł znaleźć. Wtedy warto rozszerzyć temat i popatrzeć na niego z innej perspektywy. **Nie wierz we wszystko, co znajdziesz w Internecie!** W stosunku do wiadomości znalezionych w sieci zawsze warto zachować krytycyzm – za publikacją stoi człowiek, który może być omylny (tak jak jest to w przypadku Wikipedii). Dlatego próbuj ponownie weryfikować inaczej to, co już wstępnie sprawdziłeś.

Obecnie coraz częściej pojawiają się artykuły generowane przez boty (programy komputerowe), które jeszcze cechują się powtórzeniami, dziwnym lub nieprawidłowym, stylem, ale niedługo mogą być trudne do odróżnienia. Warto pamiętać, że są też portale celowo zamieszczające tzw. fake newsy, czyli nieprawdziwe wiadomości, które mają na celu dezorientować odbiorcę i wpływać na jego opinie^{8, 9}. Nie zawsze trzeba używać wyszukiwarki, jeżeli znasz konkretną sprawdzoną stronę z danymi, których szukasz, to lepiej korzystać z już sprawdzonego źródła. Warto rozpocząć od stron, które przechowują informacje danego typu, a nie od wyszukiwania samej informacji. Na przykład dane statystyczne znajdziesz na stronie GUS-u (Główny Urząd Statystyczny) albo EUROSTAT-u (Europejski Urząd Statystyczny).

8 <https://www.sztukaszukania.pl/2019/05/21/jak-efektywnie-szukac-informacji/>

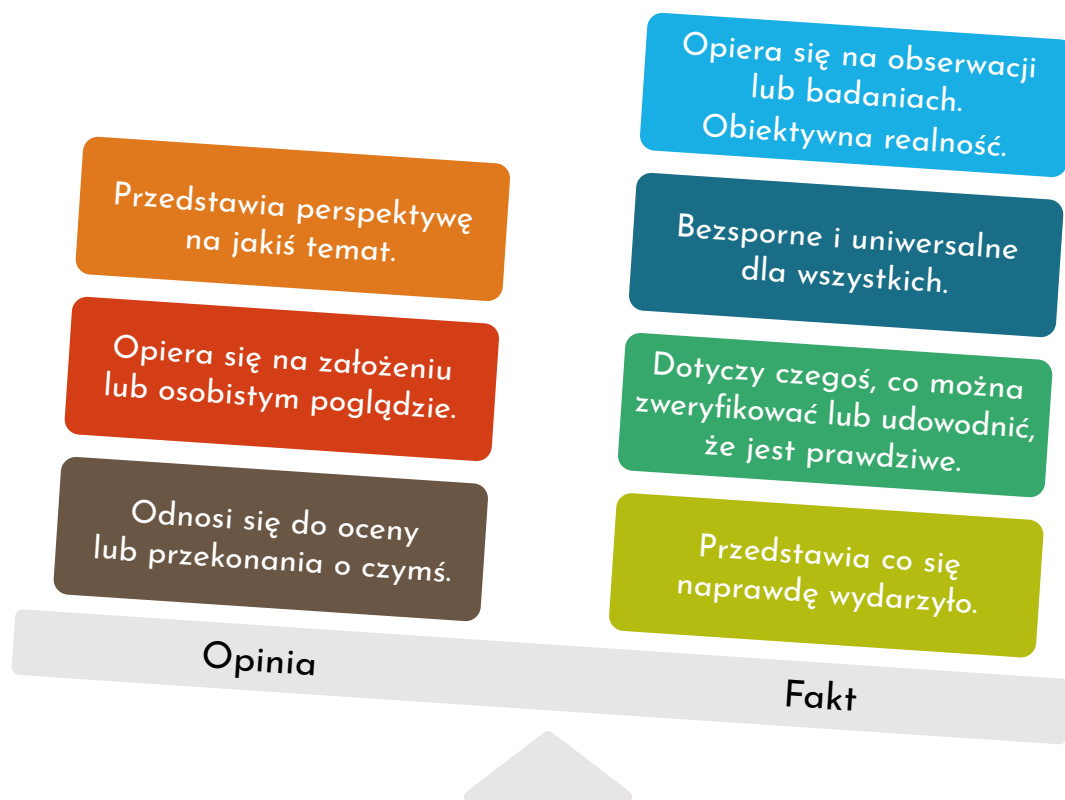
9 <https://dokariery.pl/-/jak-szukac-rzetelnych-informacji-w-internecie-6-cennych-wskazowek>



Odróżnianie faktów od opinii (Rys. 2). W sieci fakty i opinie mogą przeplatać się wzajemnie. Jaka jest zatem różnica między nimi? **Faktem** jest coś, co autentycznie miało miejsce lub wiadomo, że istniało, co można potwierdzić za pomocą dowodów. Są one ściśle określone i mogą być mierzone, obserwowane i sprawdzane. Odnoszą się do czegoś, co czyni stwierdzenia prawdziwymi i stosowanymi w związku z badaniami i studiami. Fakt może być zdarzeniem lub informacją opartą na rzeczywistych zdarzeniach, które są poparte dowodami, statystykami, dokumentacją itp. Przykładem może być informacja opublikowana przez Polską Agencję Prasową (PAP), że zgodnie z danymi IMGW sobota 30 marca 2024 r. była najcieplejszym dniem marca w ciągu ostatnich 30 lat. Fakt jest niczym innym jak weryfikowalną prawdą lub rzeczywistością, które są uzgodnione przez powszechne porozumienie. **Opinia** jest definiowana jako osobisty pogląd lub osąd na dany temat. Innymi słowy opinia jest subiektywnym stwierdzeniem, które nie podlega procesowi dowodowemu. Jest tym, co dana osoba myśli o czymś lub o kimś. Dlatego nie stanowi prawdziwej informacji tylko stroniczą. Na opinię duży wpływ mogą mieć uczucia, wiedza, doświadczenia, przekonania, wartości itp., które nie są obiektywnie weryfikowalne. Opinie różnych osób na ten sam temat mogą być radykalnie odmienne. Z tego powodu, aby określić wiarygodność i użyteczność informacji lub oświadczenia, trzeba ocenić, czy dana informacja jest faktem czy opinią, co może być niekiedy trudne. Fakty powinny być zawsze o krok przed opiniami, ponieważ można je udowodnić, podczas gdy opinia może być potencjalnie słuszna, ale z założenia nie można dowieść jej prawdziwości¹⁰. Czasami nam się wydaje, że opinia bazuje na faktach i może tak być, ale niekoniecznie musi.

¹⁰ <https://mysleniekrytyczne.edu.pl/czym-sie-roznia-fakty-od-opinii-tabela-z-roznicami>





Rys. 2 Odróżnianie faktów od opinii.

Dezinformacja w Internecie to nieprawdziwe lub celowo wprowadzające w błąd informacje, których rozpowszechnienie może mieć negatywne konsekwencje. Tworzone są i publikowane, aby uzyskać odpowiednią reakcję wśród odbiorców. Szybkie zmiany kulturowe, społeczne i gospodarcze mogą sprzyjać brakowi poczucia bezpieczeństwa, wzrostu niepokoju, i napięć społecznych oraz braku zaufania. Wszystko to tworzy środowisko sprzyjające kampaniom dezinformacyjnym. Dezinformacja jest potężnym i tanim narzędziem wpływu, które pozwala szybko dotrzeć do szerokiego grona odbiorców. Dzięki wykorzystaniu odpowiednich algorytmów, reklam oraz zautomatyzowanych i fałszywych kont, nieprawdziwe informacje uzyskują duży zasięg i stają się np. narzędziem politycznym i społecznym. Wpływ na to mają także zachowania użytkowników, którzy rozsyłają dalej pod wpływem emocji treści bez sprawdzenia ich prawdziwości¹¹.

¹¹ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/pl/policies/online-disinformation>



Weryfikacja informacji jest jedną z bardzo ważnych praktyk podczas poszukiwania faktów i informacji. Jedną z podstawowych metod, często wykorzystywaną także w działaniach dziennikarskich, jest zasada 5W. Oparta jest na zestawie pytań, dzięki którym można w usystematyzowany sposób podejść do sprawdzenia każdej informacji¹².

Tab. 1 Weryfikacja informacji metodą 5W.

Zasada 5W w weryfikacji informacji		
1.	What?/Co?	Co to za informacja? Czy ma sens? Jaki jest jej cel? Jest faktem czy opinią? Czy podano źródło informacji?
2.	Who?/Kto?	Kto jest odpowiedzialny za informację? Czy można zidentyfikować jej autora? Czy to jest osoba czy instytucja?
3.	When?/Kiedy?	Kiedy opublikowano lub zaktualizowano informację? Czy informacja pojawiła się wcześniej w innym miejscu?
4.	Where?/Gdzie?	Gdzie informacja została opublikowana? Czy miejsce przedstawione na fotografiach jest zgodne z opisem?
5.	Why?/Dlaczego?	Dlaczego informacja została opublikowana? Jaki cel lub interes ma jej autor lub osoba, która podała ją dalej?

Specjalne kompetencje do pozyskiwania informacji naukowej. Dominujące kiedyś problemy z niedostatecznym lub utrudnionym dostępem do publikacji naukowych, zastąpiły problemy wynikające z nadmiaru do-

¹² <https://infobrokerska.pl/zasada-5w/>



stępnych zasobów. Szeroki dostęp do informacji na temat publikacji z całego świata oraz do pełnych tekstów znacznej ich części, których przeczytanie czy nawet przejrzenie jest często po prostu czasowo niemożliwe, wymaga rozwijania w szczególności kompetencji związanych z oceną przydatności i stopnia ważności poszczególnych informacji. Chociaż prowadzenie badań jest wymagającym i czasochłonnym przedsięwzięciem, jest to część umiejętności, które uczniowie, studenci i naukowcy muszą opanować. Zrozumienie pułapki, jakim jest łatwy dostęp do niekiedy błędnych informacji, może przełożyć się na lepszą umiejętność weryfikacji informacji. Wiarygodne bazy danych pomagają, zapewniając dostęp do **renomowanych, wyselekcjonowanych** przez ekspertów i **recenzowanych** źródeł informacji. Aby dana publikacja mogła zostać umieszczona na liście artykułów indeksowanych przez bazy danych, to musi przejść szczegółową, krzyżową ocenę co najmniej kilku ekspertów z danej dziedziny i dopiero po uwzględnieniu uwag, poprawek, pytań recenzentów zostaje zaakceptowana do opublikowania. Jeżeli nie zależy nam na znajdowaniu czegośkolwiek czy na odszukaniu konkretnej informacji, ale na rozpoznaniu stanu wiedzy w jakimś obszarze, wówczas uczeń (student, doktorant, naukowiec) powinien dysponować kompetencjami pozwalającymi mu w jak największym stopniu rozumieć, kształtować i kontrolować proces pozyskiwania i doboru materiałów do swojej pracy. Do tego przydatna jest dobra znajomość rozwiązań i narzędzi oferowanych przez współczesne **bazy publikacji naukowych** (Scopus, Web of Sciences, Google Scholar)¹³.

Coraz większe wyzwanie stanowi także **sztuczna inteligencja** (AI, ang. Artificial Intelligence), która niekiedy jest wykorzystywana do tworzenia fake newsów. Potrafi coraz lepiej nie tylko tworzyć słowne treści, ale również zdjęcia, filmy czy symulacje głosu konkretnych osób. Dlatego też Unia Europejska obecnie pracuje nad przepisami regulującymi wykorzystanie AI, m.in. w zakresie obowiązku zamieszczania odpowiednich oznaczeń treści będących wytworem sztucznej inteligencji czy też zakazie generowania przez

¹³ <https://arsdocendi.uj.edu.pl/projekty/power/bazy-danych/poszukiwanie-i-ocena-informacji-naukowej>



nią nielegalnych treści¹⁴. W dobie tak szybko rozwijających się nowych technologii, ważne jest, aby przepisy regulujące je równie szybko były wprowadzane i pozwalały na sprawną weryfikację dostępnych informacji.

Podsumowując, mogłoby się wydawać, że obecnie przy powszechnym dostępie do informacji, zdobycie wiedzy na jakiś temat to nic trudnego. Nie napotkamy też większych problemów, jeżeli będziemy szukać adresu firmy, kursu dolara czy wzoru na pole trójkąta równobocznego. Sytuacja jest bardziej skomplikowana, gdy postanowimy zapoznać się z informacjami z zakresu wiedzy naukowej, interpretacją nowych wyników badań czy prawd o rzeczach i sprawach, które nadal są weryfikowane. Ilość dostępnej informacji w Internecie potrafi być przytłaczająca. Dlatego ważna jest umiejętność jej weryfikacji, docierania do źródeł, konfrontacji z recenzowanymi danymi literaturowymi, wyciąganie starannie przemyślanych wniosków. Warto zaufać ekspertom, którzy do faktów podchodzą skrupulatnie, sprawdzają dowody, wielokrotnie powtarzają badania, stosują komplementarne metody badań, niezależnie i bezstronnie interpretują otrzymane wyniki. Jeżeli otrzymane przez nich wnioski są spójne, to dopiero wtedy może dojść do ogólnego porozumienia i uznania interpretacji danego fragmentu rzeczywistości za fakt.

Po przeczytaniu tego rozdziału:

- ✓ **Wiesz już jak odróżnić fakty od opinii.**
- ✓ **Znasz zasadę 5W dotyczącą weryfikacji informacji.**
- ✓ **Masz świadomość, jakie są negatywne strony dostępu do dużej ilości informacji.**

14 <https://www.europarl.europa.eu/topics/pl/article/20230601STO93804/akt-ws-sztucznej-inteligencji-pierwsze-przepisy-regulujace-ai>





Energia od podstaw

dr inż. Natalia Bielejewska



ROZDZIAŁ 2

W tym rozdziale zapoznasz się z kilkoma podstawowymi pojęciami dotyczącymi energii, jak i wzorami służącymi do jej opisu.

Nie musisz ich wszystkich zapamiętywać, lecz zdobyć ogólne rozeznanie, pod jakim kątem w nauce rozpatrujemy pojęcie energii. Zachęcam Cię do spoglądania na wzory łaskawym okiem, bo służą one ułatwieniu opisu pewnych zjawisk, a nie ich komplikowaniu.

Energia jest to wielkość fizyczna charakteryzująca stan materii jako jej zdolność do wykonania pracy. Im więcej dany układ ma energii, tym większą może wykonać pracę. Z energią mamy do czynienia każdego dnia, często nawet nie zdając sobie z tego sprawy. Zdarza się, że słyszymy: „Ale mam dziś dużo energii!” lub „Potrzebuję kawy, żeby dodać sobie energii”.

Ta wielkość fizyczna ma tę niezwykłą własność, że nie da się jej wytworzyć, zniszczyć lub usunąć. Zgodnie z zasadą zachowania energii może jednak zamienić swoją formę, a tej przemianie towarzyszy wykonywanie pracy. Natomiast na potrzeby niniejszej książki zostanie przyjęte wyrażenie o wytwarzaniu energii, np. w kontekście energii elektrycznej. Niektóre formy energii są trudniejsze do wykorzystania od innych i w tym sensie możemy mówić o eksploataowaniu i wyczerpywaniu źródeł energii, takich jak np. paliwa kopalne. Energia może występować w różnych postaciach/formach:

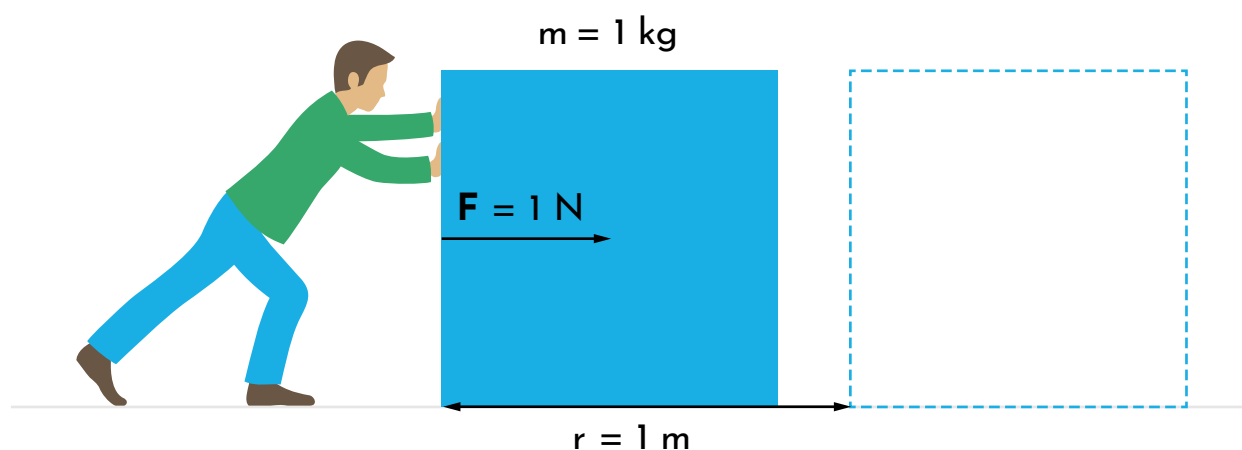
- w postaci energii mechanicznej (kinetycznej i potencjalnej ciężkości i sprężystości),
- energii elektrycznej,
- energii magnetycznej,
- energii cieplnej,
- energii jądrowej.



Jednostką energii wyrażaną za pomocą podstawowych wielkości w układzie SI¹ jest $\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$. Częściej jednak stosuje się jednostkę pochodną układu SI – dżul, oznaczaną wielką literą J. Jednostka ta jest wspólna dla pracy, ciepła i energii. Jej sens fizyczny można zdefiniować w następujący sposób: energia wykorzystana do wykonania pracy ma wartość jednego dżula, jeżeli poprzez przyłożenie siły o wartości 1 niutona do ciała o masie 1 kg, przesuniemy je na odległość 1 m w kierunku działania siły (**Rys. 1**):

$$1 \text{ J} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} = \text{N} \cdot \text{m},$$

gdzie J – dżul, kg – kilogram, m – metr, s – sekunda, N – niuton.



Rys. 1 Graficzne przedstawienie sensu fizycznego jednostki energii, gdzie r to odległość, m – masa ciała, a F – siła.

¹ Układ SI – z fr. *Système international d'unités*, Międzynarodowy Układ Jednostek Miar.



Na podstawie poprzedniego równania możemy podać także inne definicje dżula:

- praca potrzebna do wytworzenia mocy jednego wata na sekundę,
- praca potrzebna do przesunięcia ładunku jednego kulomba przy napięciu jednego wolta,

$$1 \text{ J} = \text{C} \cdot \text{V}, \text{ gdzie C – kulomb, V – wolt.}$$

Powszechnie by wyrazić energię często posługujemy się jednak innymi pojęciami. Jednostką energii najczęściej stosowaną w życiu codziennym jest kilowatogodzina, w której rozliczane jest zużycie energii elektrycznej. Najprościej można powiedzieć, że jest to ilość energii zużywana przez godzinę pracy urządzenia o mocy jednego kilowata (1000 watów).

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J.}$$

Energię możemy wyrazić również w kaloriach (cal). Zgodnie z definicją jest to ilość energii potrzebnej do podniesienia temperatury jednego grama wody o jeden stopień Celsjusza przy ciśnieniu jednej atmosfery. W kontekście żywienia mówimy o kilokaloriach (kcal), w przeliczeniu $1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal} = 4186,8 \text{ J}$. Powszechnie błędnie mówi się o kaloriach, mając w rzeczywistości na myśli kilokalorie.

Jednostką energii stosowaną m.in. w fizyce jądrowej jest natomiast elektronowolt 1 eV, który odpowiada energii, jaką uzyskuje elektron przyspieszany różnicą potencjału 1 V. Jego wartość wyrażona w dżulach to 1 wolt pomnożony przez elektryczny ładunek elementarny e:

$$1 \text{ eV} = 1 \text{ e} \cdot 1 \text{ V} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

Miarą ilości energii przekazywanej między układami fizycznymi w procesach mechanicznych, elektrycznych czy termodynamicznych jest praca, natomiast skalarną wielkością fizyczną określającą pracę wykonaną w jednostce czasu przez układ fizyczny jest moc, wyrażana wzorem $P = \frac{W}{t} = \frac{\Delta E}{t}$. Jednostką mocy jest wat (W) wyrażony zależnością $W = \frac{J}{s}$.



Głównym źródłem energii dla Ziemi jest Słońce, ale pozyskać ją można także z innych źródeł, np. z wnętrza ziemi – źródła geotermalne lub reakcji chemicznych, np. spalanie lub rozpad jądrowy².

Człowiek stosując zasadę zachowania energii często przekształca jej formę z jednej na drugą w zależności od potrzeb jej zastosowania. Energia mechaniczna stanowi sumę energii potencjalnej i kinetycznej i jest związana ze zmianą położenia ciała względem innych ciał lub jego odkształceniem.

Poruszające się ciało posiada energię kinetyczną, inaczej mówiąc energia kinetyczna związana jest ze stanem ruchu ciała. Jeśli ciało spoczywa, wówczas jego energia kinetyczna jest równa zero. Gdy prędkość ciała wzrasta, to równocześnie rośnie energia kinetyczna. Wartość energii kinetycznej (E_k) zależy od masy ciała (m) oraz od jego prędkości (V), zgodnie ze wzorem:

$$E_k = \frac{m \cdot V^2}{2}.$$

Przykładów energii kinetycznej w otaczającym nas świecie jest wiele, np.:

- tocząca się kula,
- płynący statek,
- wystrzelony pocisk,
- jadący pojazd.

Drugim rodzajem energii mechanicznej jest energia potencjalna, którą można podzielić na energię potencjalną grawitacji oraz energię potencjalną sprężystości.

Energię potencjalną grawitacji posiada ciało, które znajduje się na pewnej wysokości względem wybranego przez nas układu odniesienia, można zatem powiedzieć, że ciało to ma potencjał do wykonania pracy. Wartość energii potencjalnej grawitacji (ΔE_{pg}) zależy od masy ciała (m) oraz wysokości (h) nad wybranym układem odniesienia, na której znajduje się ciało, zgodnie ze wzorem:

² Moebs W., Ling S. J., Sanny J., *Fizyka dla szkół wyższych*. Tom 1. Warszawa 2017.



$$\Delta E_{Pg} = m \cdot g \cdot h,$$

gdzie g oznacza przyspieszenie ziemskie wynoszące w zaokrągleniu $9,81 \text{ m/s}^2$.

Energię potencjalną sprężystości posiada ciało, które zostało odkształcone i samorzutnie powróci do swojego pierwotnego stanu, w tym przypadku również można powiedzieć, że ciało to ma potencjał do wykonania pracy. Zmianę energii potencjalnej sprężystości odkształconego ciała (ΔE_{Ps}) wyraża się wzorem:

$$\Delta E_{Ps} = \frac{k \cdot x^2}{2},$$

gdzie k oznacza współczynnik sprężystości, natomiast x – odkształcenie.

Sytuacje, w których mamy do czynienia z energią potencjalną w życiu codziennym są bardzo liczne, można do nich zaliczyć:

- spadające owoce z drzewa,
- napięty łuk ze strzałą,
- rozciągniętą lub zduszoną sprężynę.

Jedną z fundamentalnych zasad przyrody jest zasada zachowania energii mechanicznej, której treść brzmi następująco: jeśli siły zewnętrzne nie wykonują pracy nad układem ciał i na składniki układu nie działają siły tarcia lub oporu ośrodka, to energia mechaniczna układu pozostaje stała, co oznacza, że energia kinetyczna i potencjalna składników układu mogą się zmieniać, ale ich suma pozostaje niezmienną. Zasadę tę możemy zapisać następującym wzorem:

$$E = E_p + E_k = \text{constans},$$

lub:

$$(E_p + E_k)_{\text{początkowa}} = (E_p + E_k)_{\text{końcowa}},$$

czyli zmiana energii $\Delta E = 0$ ^{3, 4}.

³ Moebs W., Ling S. J., Sanny J., *Fizyka dla szkół wyższych*. Tom 1. Warszawa 2017.

⁴ Bober L., *Lekcja Fizyki. Praca, moc, energia*. Kraków 2020.



Jedną z form energii wewnętrznej układu jest energia termiczna, która jest związana z chaotycznym ruchem cząsteczek układu. W większości przypadków nie musimy szczegółowo analizować ruchu wszystkich cząsteczek, ponieważ wielkością makroskopową, charakteryzującą energię termiczną danego ciała jest jego temperatura. Wraz ze wzrostem temperatury energia wewnętrzna rośnie i maleje, gdy temperatura układu jest obniżana.

Do energii wewnętrznej zaliczamy także energię chemiczną, która jest energią wiązania związku chemicznego uwarunkowaną wzajemnym oddziaływaniem atomów w cząsteczce. W momencie pęknięcia wiązań, uwalniana jest energia w postaci ciepła. Pewną ilość energii chemicznej zawiera każda substancja, która może się spalić.

Ostatnią wspomnianą tutaj energią jest energia atomowa, powstająca w czasie przemian jądrowych. Polega ona na podziale jądra atomu na mniejsze fragmenty, w efekcie czego wydzielona jest ogromna ilość ciepła, które następnie jest zamieniane na energię mechaniczną wykorzystywaną przez człowieka.

W obecnych czasach najczęściej wykorzystujemy energię elektryczną, mamy z nią do czynienia za każdym razem, gdy włączamy jakieś urządzenie elektryczne lub elektroniczne⁵. Energia elektryczna jest nieodzownie związana z prądem elektrycznym, czyli uporządkowanym przepływem ładunku elektrycznego płynącego przez daną powierzchnię, np. przekrój przewodu elektrycznego, w jednostce czasu. Kiedy mówimy o energii elektrycznej najczęściej posługujemy się pojęciem mocy elektrycznej, opisując w ten sposób ilość energii, jaką zużywamy w jednostce czasu (np. ilość energii niezbędna do zasilenia konsoli do gier w trakcie godzinnej rozgrywki). Stosując ogólną definicję, mówimy, że moc to zdolność do wykonania przez układ pracy w jednostce czasu. Tym samym, im większą mocą dysponujemy, tym szybciej możemy wykonać daną pracę. W przypadku energii elektrycznej wielkości

⁵ Urządzenia elektryczne pobierają energię w postaci prądu elektrycznego, a następnie przekształcają ją w prosty sposób w inną formę energii – najczęściej w światło, ciepło lub ruch. Natomiast urządzenia elektroniczne są zaprojektowane do manipulowania prądem elektrycznym w sposób, który sprawia, że przepływ prądu niesie ze sobą oprócz energii także pewne informacje.



dla niej charakterystyczne to: napięcie elektryczne (U) wyrażane w woltach, natężenie prądu (I) wyrażane w amperach oraz opór elektryczny (R) wyrażany w omach. Za pomocą tych wielkości możemy wyrazić wzór na moc elektryczną (P) wyrażaną w watach:

$$P = U \cdot I = I^2 \cdot R.$$

W kontekście energetyki ilość ciepła potrzebnego w domu zależy od wielu czynników. Wszystkie uwzględniają współczynniki zapotrzebowania budynku na energię pierwotną, końcową i użyteczną. Energia użyteczna (użytkowa) to energia jaką trzeba dostarczyć do pomieszczeń ogrzewanych w domu, żeby zapewnić w nich wymaganą temperaturę. Energia końcowa to energia, za którą trzeba zapłacić, np. w postaci ilość zużywanego gazu ziemnego czy prądu, w ciągu roku, czyli jest to energia dostarczona do budynku w celu zapewnienia w nim wymaganej temperatury w ogrzewanych pomieszczeniach i do ogrzewania wody użytkowej, dodatkowo z uwzględnieniem wszystkich strat wytwarzania i przesyłania ciepła wewnątrz budynku. Natomiast energia pierwotna to energia, która uwzględnia zapotrzebowanie na energię końcową budynku i dodatkowe nakłady energii potrzebne na produkcję paliwa, jego transport czy magazynowanie^{6, 7}.

⁶ Praca zbiorowa, *Encyklopedia techniki. Podstawy Techniki*, Warszawa 1994.

⁷ Praca zbiorowa, *Encyklopedia fizyki*. Tom 1, Warszawa 1972.



Po przeczytaniu tego rozdziału:

- ✓ Wiesz jak definiujemy energię i w jakich jednostkach możemy ją wyrazić.
- ✓ Znasz formy energii i sposób, w jaki ulega przekształceniu (zgodnie z zasadą zachowania energii).
- ✓ Potrafisz wymienić przykłady energii potencjalnej i kinetycznej w otaczającym świecie.
- ✓ Wiesz, że energia elektryczna jest to energia układu ładunków elektrycznych, a z kolei prąd elektryczny jest to uporządkowany ruch ładunków elektrycznych (najczęściej elektronów).
- ✓ Potrafisz zdefiniować energię pierwotną, użytkową oraz końcową, np. w temacie ogrzewania.





Energia w liczbach

dr inż. Karol Synoradzki



ROZDZIAŁ 3

Czy zastanawiałeś się kiedyś, ile energii w różnej postaci potrzebujesz, żeby codziennie funkcjonować?

Jeśli tak, to zainteresuje Cię rozdział 3.

Energia może przyjmować wiele form, a każda z nich jest kluczowa dla istnienia człowieka. Wszystko, co się wokół nas dzieje, można nazwać **procesem przemiany energii**, czyli zmianą jednej formy energii w inną, np. spalanie to proces zamiany energii chemicznej w energię cieplną¹. W **Tab. 1** przedstawiono kilka przykładów form energii i ich przemian.

Tab. 1 Przykłady form energii (chemiczna, cieplna, kinetyczna i elektryczna) i jej transformacji.

do \ od	chemiczna	cieplna	kinetyczna	elektryczna
chemiczna	obróbka chemiczna	dysocjacja termiczna	radioliza	elektroliza
cieplna	spalanie	wymiana cieplna	tarcie	ogrzewanie oporowe
kinetyczna	metabolizm	silnik cieplny	przekładnie	silniki elektryczne
elektryczna	baterie	termoelektryczność	generatory prądu	transformator

Jak czytać tabelę:

Metabolizm: chemiczna → kinetyczna (metabolizm przemienia energię chemiczną uzyskaną z pokarmu w kinetyczną, czyli np. ruch mięśni).

Generator prądu: kinetyczna → elektryczna (generator prądu przemienia energię kinetyczną wiatru wpędzającego w ruch turbinę w elektryczną).

¹ Clegg B., Ball P., Clifford L., Flynn S., Holgate S.A., May A., Al-Khalili J., Rawlings S., Kozłowski P., *30 sekund o energii: 50 kluczowych pojęć, teorii i hipotez przedstawionych w pół minuty*. Ożarów Mazowiecki 2019.



Człowiek celowo zmienia formy energii, aby zaspokoić swoje potrzeby, ale każdej takiej zmianie towarzyszą także straty. Co prawda, energia nie znika, lecz traci tylko swoją użyteczną dla nas formę. Zazwyczaj jest to ciepło, które towarzyszy każdej przemianie i ze względu na swoją rozproszoną formę staje się dla nas już bezużyteczne. Człowiek, jak każde żyjące stworzenie, nieustannie pobiera i oddaje energię. Do codziennej aktywności ludzie potrzebują różnych jej form, żeby móc wykonywać te najbardziej podstawowe czynności (np. oddychanie), jak i te najbardziej skomplikowane i wyrafinowane (np. lot w kosmos). Nasza codzienna aktywność wymaga przetwarzania ogromnych ilości energii. W wielu wypadkach procesy jej przemiany, z których korzystamy, mają bardzo negatywny wpływ na środowisko naturalne, co prowadzi do zanieczyszczenia i zmian klimatycznych. W tym rozdziale przedstawię kilka przykładów z codziennego życia ilustrujących, jakie ilości energii są przez nas wykorzystywane i dlaczego warto dążyć do ich obniżenia.

Przede wszystkim, żeby przeżyć musimy dostarczać swojemu organizmowi energię w postaci jedzenia. W zależności od wieku, płci, wykonywanej pracy, aktywności fizycznej, stanu zdrowia czy miejsca zamieszkania, szacuje się, że dorosły człowiek powinien przyjmować między 2000 a 3000 kilokalorii (czyli 8,4-12,6 MJ)² dziennie. Produkty spożywcze to energia w postaci chemicznej. Te najbardziej kaloryczne są tłuste i słodkie, choć niekoniecznie dobre dla naszego zdrowia. Dlatego tak ważna jest urozmaicona i dobrze dobrana dieta, składająca się z różnorodnych posiłków, aby nie tylko dostarczać samych kalorii, ale również inne związki potrzebne do codziennego funkcjonowania (np. witaminy). Przykładowo tłuszcze zawierają około 9 kJ na gram (kJ/g), białka oraz cukry mają ich średnio dwa razy mniej (~4 kJ/g), natomiast najniższą gęstość energetyczną z produktów spożywczych mają warzywa i owoce (0,5-2,5 kJ/g)³. Jeżeli chcielibyśmy zaspokoić tylko energetyczną potrzebę naszego organizmu, to możemy np. zjeść 1 kg pełnoziarnistego pieczywa, którego gęstość energii

² 1 MJ = 1 000 kJ a 1 kcal = 4,19 kJ.

³ Jarosz M. (red.), *Normy żywienia dla populacji Polski i ich zastosowanie*. Warszawa 2020.



wynosi ~ 10 MJ/kg⁴. Nasz organizm przetwarza zawartą w jedzeniu energię na użyteczną dla niego formę w postaci związku chemicznego nazywanego w skrócie ATP (adenozyno-5'-trifosforan).

Molekuły ATP dostarczają energii do wszystkich komórek naszego ciała pozwalając im poprawnie funkcjonować. Większość z dostarczanej wraz z jedzeniem energii zużywana jest na utrzymanie stałej temperatury naszego ciała. Sam proces przetwarzania jedzenia na ATP jest mało wydajny i jego efektywność wynosi jedynie 40%. Również proces zamiany energii w mięśniach nie jest zbyt efektywny, ponieważ jedynie 18-26% energii dostarczonej do mięśni jest przekształcane w energię mechaniczną (sumę energii kinetycznej i potencjalnej).

Bardzo dużo energii zużywa nasz mózg. Pomimo tego, że stanowi tylko 2% masy przeciętnego człowieka, to podczas pracy zużywa aż 20% pozyskiwanej przez organizm energii. W zależności od naszej aktywności fizycznej i umysłowej zapotrzebowanie naszego organizmu na energię jest różne.

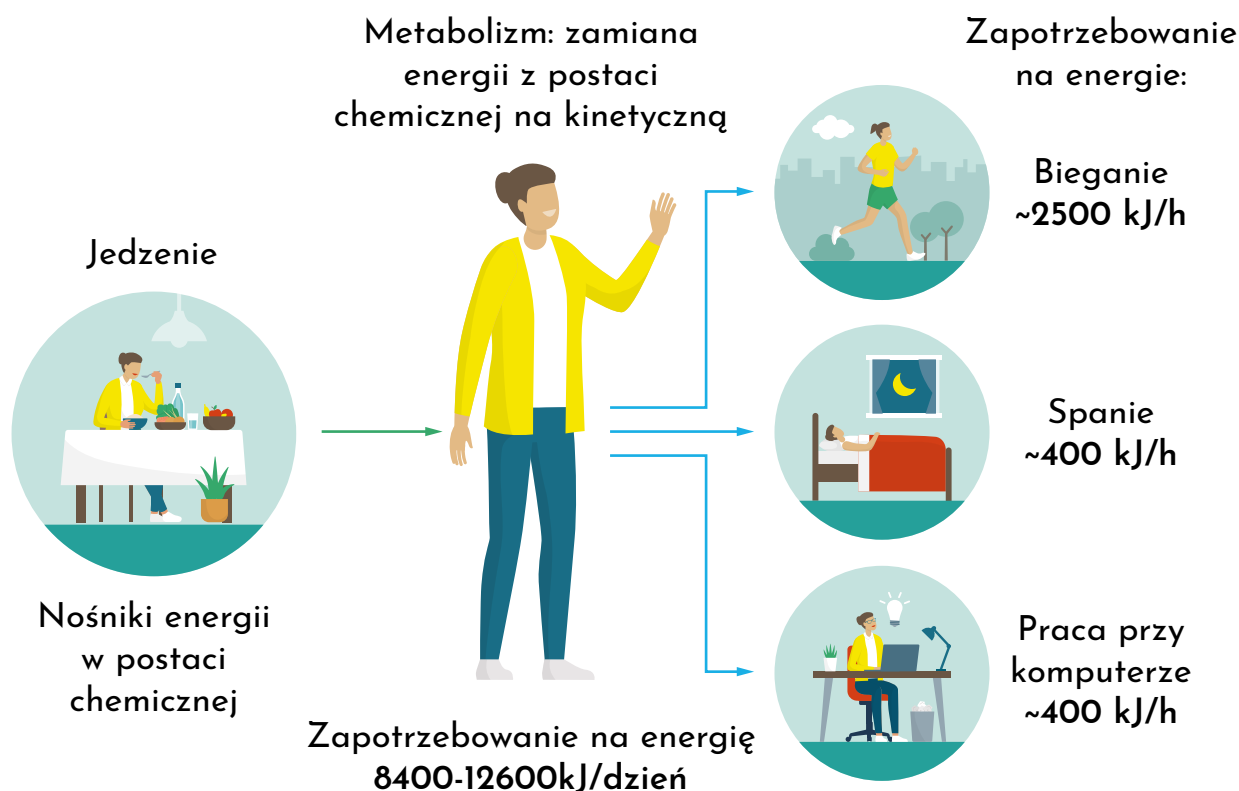
Podstawowy metabolizm odnoszący się do minimalnego zużycia energii niezbędnej do podtrzymania bazowych funkcji fizjologicznych (oddychanie, przepływ krwi, praca narządów wewnętrznych) wynosi ok. 1500-2300 kcal na dzień, co stanowi ok. 75% całkowitego zapotrzebowania na jedzenie. Każda dodatkowa aktywność będzie zwiększać zapotrzebowanie na energię (**Rys. 1**).

Godzina spania, czytania, pracy przy komputerze, oglądania telewizji czy jazdy samochodem będzie związana z wydatkiem energii nieprzekraczającym 400 kJ na godzinę. Ubieranie się, jedzenie i gotowanie pochłonie między 400 a 800 kJ/h. Na zakupach lub wolnym spacerze (4 km/h) zużyjemy 800-1000 kJ/h, jeżeli na spacerze przyspieszymy nasze kroki do 6 km/h, to zapotrzebowanie na energię wzrośnie nawet do 1500 kJ/h. Natomiast takie aktywności jak: bieganie, pływanie, taniec, narciarstwo czy praca fizyczna (rąbanie drewna, odśnieżanie itp.) wymagają nawet 2500 kJ/h⁵.

⁴ Smil V., Sugiero J., *Energia i cywilizacja: tak tworzy się historia*. Gliwice 2023.

⁵ Bernaciková M., *Physiology*. Brno 2012.





Rys. 1 Zapotrzebowanie człowieka na energię i jej wykorzystanie w codziennych czynnościach.

W przypadku gdy będziemy jeść za dużo, czyli przyjmować więcej kalorii niż jesteśmy w stanie ich zużyć, to nasz organizm zacznie je magazynować w postaci tkanki tłuszczowej i przybierzemy na wadze. Z drugiej strony, jeżeli nasza aktywność będzie bardzo intensywna, a my nie zapewnimy odpowiedniej ilości kalorii naszemu organizmowi, to nasze ciało wykorzysta wcześniej zgromadzoną tkankę tłuszczową.

Jedzenie, które spożywamy jest głównie pochodzenia roślinnego i powstaje w ramach procesu fotosyntezy. Rośliny potrafią przekształcić dwutlenek węgla (CO_2) i wodę (H_2O) w węglowodany, tłuszcze, białka i tlen, wykorzystując do tego energię promieniowania słonecznego. Zjawisko fotosyntezy jest podstawą życia wszystkich bardziej skomplikowanych form żywych organizmów w tym człowieka.

Rolnictwo jest jedną z podstawowych aktywności ludzi i **ma ono na celu dostarczenie nam produktów spożywczych**, ale jest przy tym bardzo energochłonne. Każdy jego obszar, przykładowo uprawa roślin, która wiąże się z licznymi pracami, m.in. nawadnianiem, orką, koszeniem, produkcją nawozów i środków ochrony, itp. wymaga dużo energii. Produkcja samych tylko nawozów azotowych odpowiada za 1% całkowitego światowego zużycia energii⁶. W szczególności produkcja mięsa wymaga jej dużych nakładów, aby otrzymać 1 kg wieprzowiny potrzebne jest aż 9 kg paszy⁷. Dodatkowo zwierzęta potrzebują dostępu do czystej wody, co również zwiększa zapotrzebowanie na energię. Dlatego jednym ze sposobów na obniżenie jej zużycia w rolnictwie jest niemarnowanie jedzenia oraz ograniczenie spożycia mięsa.

To co jemy najczęściej musimy ugotować, czyli wymagana jest odpowiednia obróbka termiczna, a co za tym idzie – potrzebujemy źródła ciepła. Niegdyś używano do tego otwartego ognia. Podczas spalania materiału roślinnego, np. drewna, powstawało dużo energii w postaci ciepła, które można było wykorzystać do podgrzania jedzenia. Niestety ten proces był bardzo mało efektywny, gdyż większość uwolnionej energii była tracona. Obecnie gotowanie odbywa się głównie w kuchniach zasilanych gazem ziemnym lub energią elektryczną. Kuchenki gazowe są zazwyczaj bardziej efektywne energetycznie, ale to w dużej mierze zależy od konkretnego modelu i efektywności samego urządzenia. Średnie zużycie energii na gotowanie w gospodarstwie domowym może wynosić ~2 kWh dziennie⁸. Oczywiście, jeśli używa się piekarnika, mikrofalówki, blendera czy innych urządzeń, to także wpłynie na ogólne zużycie energii w kuchni. Jedną z najczęściej wykonywanych czynnością jest podgrzewanie wody. Ze względu na dość duże ciepło właściwe

⁶ Smil V., Strąkow M., *Liczby nie kłamią: 71 rzeczy, które trzeba wiedzieć o świecie*. Kraków 2022.

⁷ Smil V., Sugiero J., *Energia i cywilizacja: tak tworzy się historia*. Gliwice 2023.

⁸ Główny Urząd Statystyczny, *Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2021 r.*, https://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5485/12/2/1/zuzycie_energii_w_gospodarstwach_domowych_w_2021_r.pdf



wody wymaga ona sporo energii przy podgrzewaniu. Przeciętny czajnik ma moc wynoszącą ok. 2000 W. Jednorazowe zagotowanie 1 litra wody od temperatury pokojowej (20 °C) do temperatury wrzenia (100 °C) zużyje ~100 Wh energii.

Wodę podgrzewamy nie tylko w celu przygotowania posiłków. Codzienna higiena to podstawa dbania o zdrowie czy samopoczucie, zapewniająca zarówno czystość jak i ochronę przed chorobami i infekcjami. **Podgrzewanie wody do celów higienicznych** odpowiada za ~15% rocznego zużycia energii⁹. Do tego należy ją odpowiednio oczyścić i dostarczyć do naszych domów, co również wiąże się z dużym kosztem energetycznym. Dlatego pamiętajmy o tym, żeby nie marnować wody, zwłaszcza, że wraz ze zmianami klimatycznymi grozi nam jej brak także w Polsce.

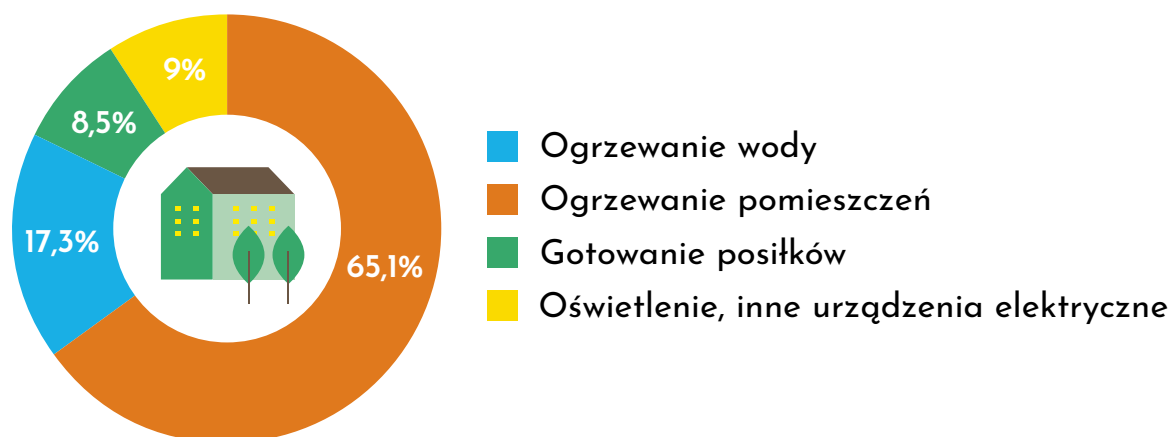
Wodę podgrzewamy również w celu **ogrzewania budynków**. W naszych domach popularne są systemy grzewcze oparte na gazie ziemnym, oleju opałowym, jak i energii elektrycznej. W niektórych regionach rozwija się również wykorzystanie energii cieplnej pochodzącej z odnawialnych źródeł, takich jak kolektory słoneczne czy wody geotermalne. Ogrzanie pomieszczeń w Polsce wiąże się z największym wydatkiem energetycznym i pochłania ono ponad 65% rocznego zapotrzebowania na energię przeciętnego gospodarstwa domowego¹⁰. Co ciekawe, ponad 50% domów i mieszkań w naszym kraju wykorzystuje w tym celu ciepło pochodzące z sieci ciepłowniczej. Kolejnym źródłem ciepła są domowe piece na paliwo stałe (np. węgiel)¹¹.

⁹ Główny Urząd Statystyczny, *Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2021 r.*, https://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5485/12/2/1/zuzycie_energii_w_gospodarstwach_domowych_w_2021_r.pdf

¹⁰ *Ibidem.*

¹¹ *Ibidem.*





Rys. 2 Zużycie energii przez statystyczne gospodarstwo domowe w Polsce w 2021 r. na podstawie danych GUS¹².

Sporo energii potrzebne jest do **przechowywania żywności**. Lodówka to jedno z najpopularniejszych urządzeń AGD, którego działanie polega na wypompowaniu energii w postaci ciepła ze szczelnego wnętrza lodówki na zewnątrz. Lodówka, żeby w swoim środku mogła obniżyć temperaturę, musi ją nieco podnieść na zewnątrz. Przeciętnej wielkości najbardziej oszczędne urządzenia (oznaczone klasą energetyczną A) mają moc ok. 100-200 W. Ponieważ lodówka nie musi ciągle pracować, roczne zużycie energii elektrycznej wynosi zaledwie ~250 kWh. Jednak ze względu na popularność tego urządzenia, które znajduje się praktycznie w każdym domu, całkowita ilość energii elektrycznej zużywanej przez lodówki jest ogromna i stanowi ~10% całego zapotrzebowania na energię elektryczną¹³. Przeciętnie w polskich gospodarstwach domowych zużywa się 24,6 GJ energii w przeliczeniu na jednego mieszkańca.

W naszych domach energia elektryczna wykorzystywana jest głównie do **oświetlenia oraz zasilania różnych urządzeń AGD i RTV**. Sztuczne światło pozwala nam przedłużyć naszą aktywność bez względu na porę dnia czy roku. Gdy na dworze robi się ciemno, włączamy lampę, która przetwarza energię elektryczną w światło. Obecnie rozpowszechnione żarówki LED mają

¹² Ibidem.

¹³ Ibidem.



bardzo dobrą wydajność świetlną – dobrze przetwarzają energię elektryczną na strumień światła, w odróżnieniu od żarówek starego typu, w których to większość pobieranej przez żarówki energii była zamieniana w ciepło. Telewizor, znajdujący się według danych statystycznych w 90% gospodarstw domowych, w zależności od technologii, w jakiej jest wykonany (kineskopowy, LCD, LED) oraz wielkości ekranu będzie zużywał różną ilość energii elektrycznej. Pomimo tego, że telewizory różnią się od siebie, to niezależnie od modelu każde urządzenie w trybie czuwania będzie pobierać nie więcej niż 0,5 W na godzinę. Biorąc pod uwagę, że w ciągu roku mamy ok. 8760 godzin, to telewizor w trybie czuwania zużyje 4380 W. Popularny model telewizora wykonany w technologii LED o przekątnej ekranu 60 cali będzie zużywał ~100 W/h w trakcie wyświetlania obrazu. Komputery wraz z osprzętem charakteryzują się dość dużą mocą ~200 W, podobną jak lodówka i zużywają sporo energii elektrycznej. Laptopy zazwyczaj mają mniejszą moc (~100 W), więc zużywają mniej energii. Całkowite jej zużycie przez urządzenia AGD i RTV będzie zależeć od ich mocy i czasu używania. Zatem, jeżeli chcemy ograniczyć zużycie, to należy wybierać urządzenia energooszczędne o możliwie jak najmniejszej mocy i najlepiej używać ich jak najkrócej.

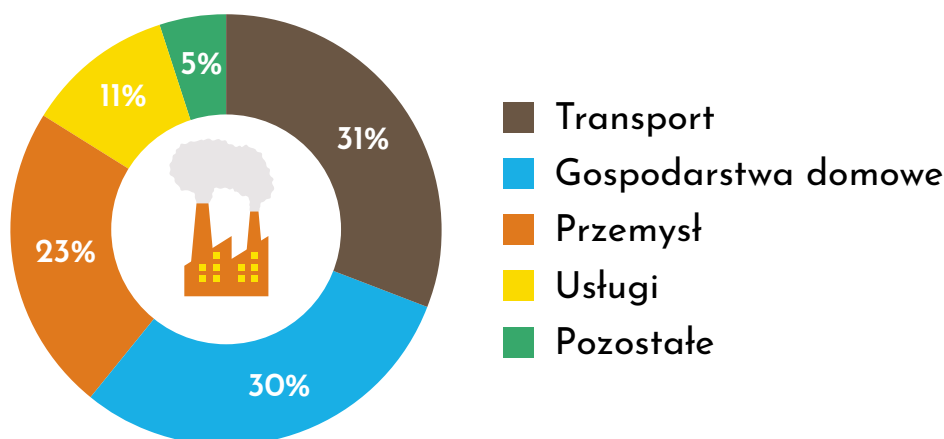
Transport stanowi kolejną istotną aktywność człowieka, która odpowiada za ogromne ilości przemian energii. W 2019 r. transport odpowiadał za 31% całkowitego wykorzystania energii w Polsce¹⁴. Do przemieszczania się na lądzie, w wodzie i w powietrzu wykorzystujemy maszyny wyposażone w silniki spalinowe, które w procesie spalania zmieniają energię chemiczną zmagazynowaną w paliwach kopalnych w energię mechaniczną, która napędza koła, śruby, śmigła czy turbiny. Silniki spalinowe zasilane są paliwami pochodzącymi z obróbki ropy naftowej: benzyną, olejem opałowym czy naftą. Wartość opałowa jednego litra benzyny wynosi ok. 8,2 kWh. Oznacza to, że jeśli samochód spala 5 litrów benzyny na 100 km, to zużywa 41 kWh energii zawartej w paliwie na pokonanie każdych 100 km, co daje wydajność równą 0,41 kWh/km. Natomiast przeciętny samochód elektryczny zużywa

¹⁴ Eurostat, Zestaw danych: nrg_bal_s, <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/bulk?lang=en>



ok. 0,2 kWh/km, czyli o połowę mniej energii niż samochód z silnikiem spalinowym i między innymi z tego powodu obecnie widać ich dynamiczną ekspansję na rynku motoryzacyjnym.

Poza opisanymi obszarami, ludzie zużywają energię do prowadzenia różnych innych działalności, np. do produkcji różnych towarów, świadczenia usług itp. Procentowe zużycie energii na potrzeby tych sektorów przedstawiono na wykresie na **Rys. 3**. W Polsce najwięcej energii wykorzystujemy na transport (31%). Niewiele mniej (30%) zużywają energii nasze gospodarstwa domowe. Przemysł odpowiada za ~23% zużycia energii. Do świadczenia usług wykorzystujemy ~11%, a pozostałe czynności zużywają ~5% dostępnej energii¹⁵.



Rys. 3 Zużycie energii w Polsce w 2019 r. z podziałem na różne sektory. Na podstawie danych Eurostatu¹⁶.

Łatwy dostęp do różnych form energii w przystępnej cenie jest podstawą rozwoju naszej cywilizacji i gwarantuje dobrobyt ludzi. Jednocześnie ludzka działalność w zakresie przetwarzania różnych form energii niesie za sobą duże zagrożenie dla środowiska naturalnego. Aby móc dalej się rozwijać, ludzkość musi szukać rozwiązań, które dostarczą jej odpowiednią ilość energii przy możliwie jak najmniejszym wpływie na środowisko naturalne.

¹⁵ Eurostat, Zestaw danych: nrg_bal_s, <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/bulk?lang=en>

¹⁶ Ibidem.

Po przeczytaniu tego rozdziału:

- ✓ *Potrafisz podać przykłady transformacji jednej formy energii w inną.*
- ✓ *Potrafisz wymienić różne aktywności działalności ludzkiej, do których funkcjonowania potrzebna jest energia w określonej formie.*
- ✓ *Wiesz już, co w Twoim gospodarstwie domowym pochłania najwięcej energii.*





Zużycie energii w Polsce

dr inż. Magdalena Knapkiewicz



ROZDZIAŁ 4

Z poniższego rozdziału dowiesz się, m.in. z jakich nośników energii korzystamy w Polsce.

Rozpocznę od wyjaśnienia, czym są wspomniane w komentarzu nośniki energii. A mianowicie nośnikiem energii nazywamy **każdy wyrób uczestniczący bezpośrednio lub pośrednio w procesach przekazywania różnych postaci energii ze źródeł jej pozyskiwania do strefy użytkowania**¹. W dalszej części tego tekstu znajdziesz przykłady, które ułatwią Ci zrozumienie tej definicji. Rozróżnia się pierwotne i wtórne nośniki energii. Definicja pierwotnych nośników energii przedstawiona na stronie Głównego Urzędu Statystycznego jest następująca:

„Nośniki energii są pozyskiwane bezpośrednio z zasobów naturalnych odnawialnych i nieodnawialnych. Do pierwotnych nośników energii objętych obecnie bilansem krajowym należą²:

- węgiel kamienny,
- węgiel brunatny,
- torf,
- ropa naftowa i gazolina naturalna,
- gaz ziemny,
- energia słoneczna,
- energia wiatru,

¹ Górzyński J., *Efektywność energetyczna w działalności gospodarczej. Nośniki energii i system społeczno-gospodarczy. Napędy i Sterowanie*. Warszawa 2020.

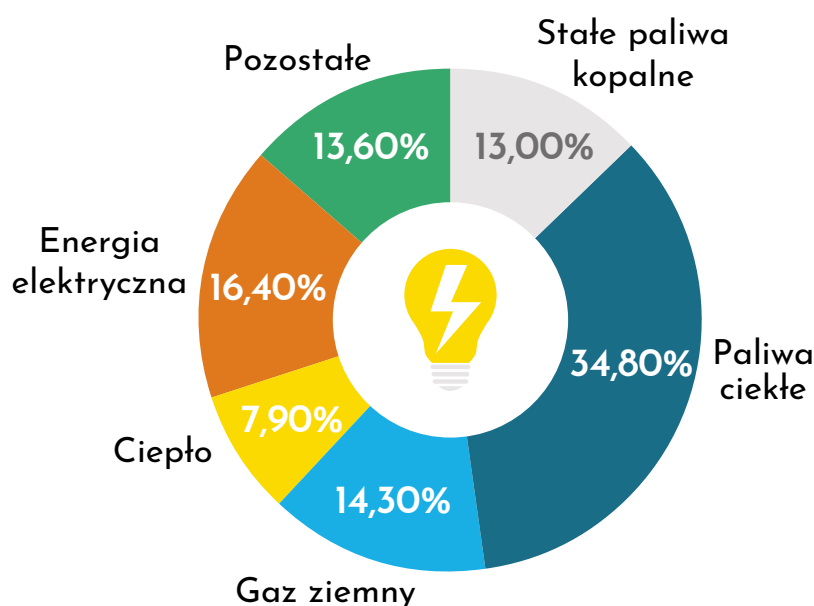
² <https://stat.gov.pl/metainformacje/slownik-pojec/pojecia-stosowane-w-statystyce-publicznej/3058,pojecie.html?pdf=1>; definicja przedstawiona z pominięciem podziału na kategorie.



- drewno opałowe,
- biomasa, tzn. materiały organiczne pochodzenia roślinnego uzyskiwane ze specjalnych upraw energetycznych lub jako produkty odpadowe,
- energia geotermalna,
- energia wodna (przepływ naturalny) wykorzystywana do produkcji energii elektrycznej.”

Wtórne nośniki energii powstają w wyniku przetwarzania nośników pierwotnych w bardziej dogodną postać z punktu widzenia użytkowania, np. w ciepło, energię elektryczną, koks, brykiety węgla, olej napędowy, benzynę i inne.

Na **Rys. 1** pokazano jaka jest struktura końcowego zużycia energii w Polsce według stosowanych nośników energii. Innymi słowy, możemy zobaczyć, w postaci jakich nośników energia jest dostarczana do strefy użytkowania, czyli do odbiorcy.

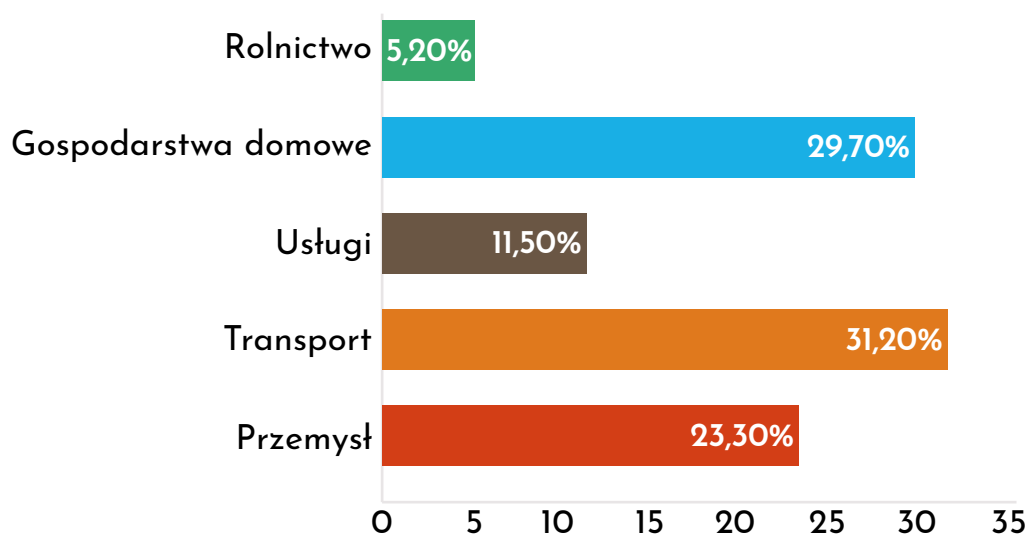


Rys. 1 Struktura **finalnego (końcowego)** zużycia energii w Polsce według stosowanych nośników energii (dane z 2021 r.)³.

³ Główny Urząd Statystyczny oraz Urząd Statystyczny w Rzeszowie. *Efektywność wykorzystania energii w latach 2011-2021*. Warszawa, Rzeszów 2023.

Zgodnie z powyższym rysunkiem, zapotrzebowanie na różne nośniki energii końcowej w Polsce jest dość zróżnicowane. Najczęściej wykorzystujemy paliwa ciekłe, które stanowią aż 34,8% nośników energii końcowej. Zdecydowana większość paliw ciekłych to paliwa węglowodorowe, tj. produkty przeróbki ropy naftowej wykorzystywane głównie w transporcie, np. benzyna, olej napędowy (oznaczony jako ON lub diesel przez dystrybutorów stacji benzynowych), nafta lotnicza. Na drugiej pozycji znajduje się energia elektryczna (16,4%), a za nią gaz ziemny (14,3%). Rzeczywisty udział węgla czy gazu ziemnego w całym bilansie energetycznym Polski jest większy niż mówią podane procenty, ponieważ wykorzystujemy je także do produkcji energii elektrycznej i ciepła.

Na **Rys. 2** przedstawiono, w jakich sektorach gospodarki wykorzystujemy energię. Z danych tych wynika, że największy udział w ogólnym zużyciu energii w Polsce ma transport, na drugiej pozycji znajdują się gospodarstwa domowe, a na trzecim przemysł.



Rys. 2 Struktura końcowego zużycia energii w Polsce według sektorów (dane z 2021 r.)⁴.

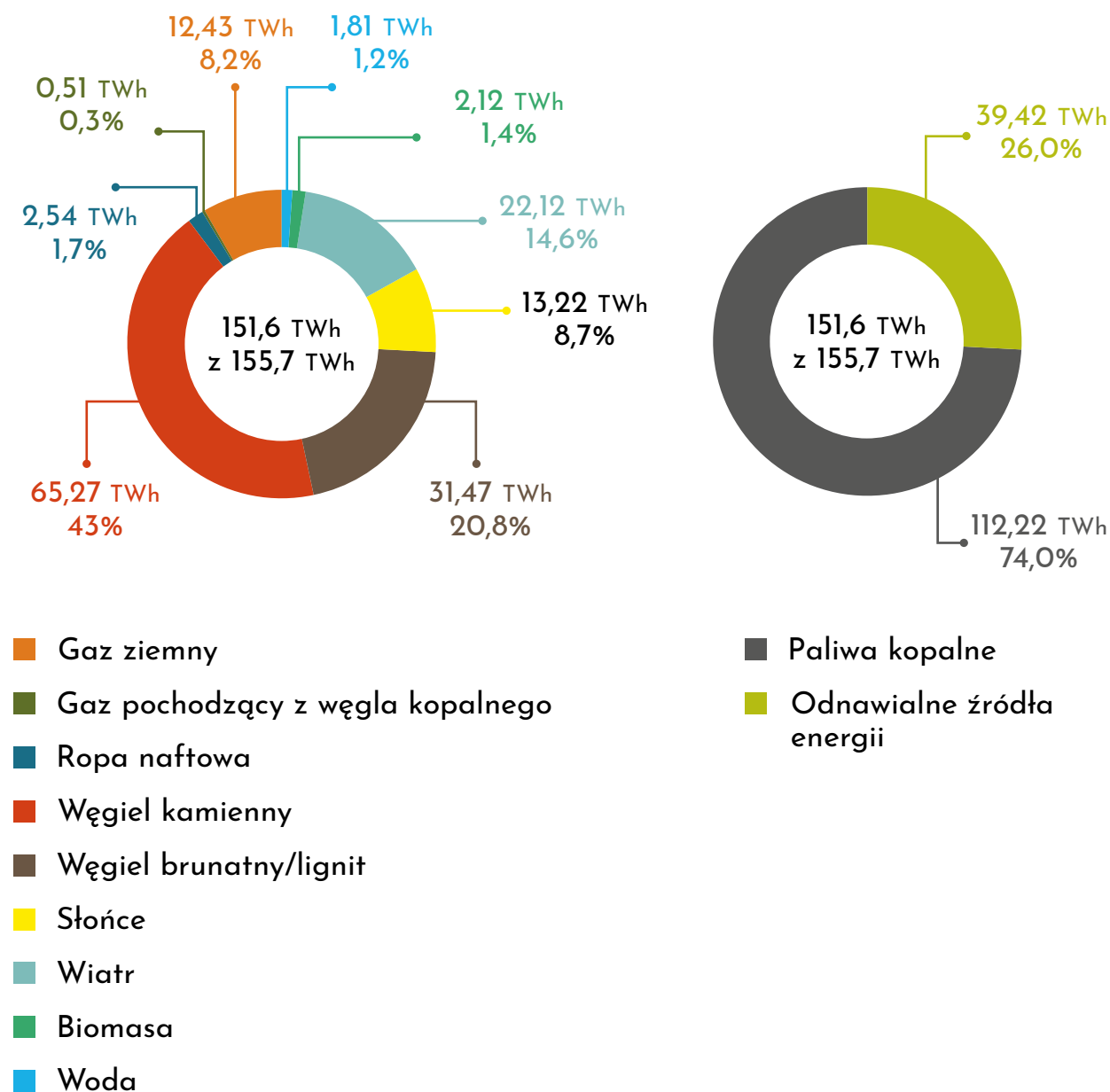
⁴ Główny Urząd Statystyczny oraz Urząd Statystyczny w Rzeszowie. *Efektywność wykorzystania energii w latach 2011-2021*, Warszawa, Rzeszów 2023, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/efektywnosc-wykorzystania-energii-w-latach-2011-2021,5,18.html>

Pomimo, że aktualnie najczęściej wykorzystywanym nośnikiem energii końcowej są paliwa ciekłe (głównie pochodne ropy naftowej), to szczególną uwagę należy poświęcić energii elektrycznej i sposobie jej produkcji. Pewnie ciekawy jesteś dlaczego? Otóż paliwa kopalne (węgiel, ropa naftowa i gaz ziemny) najczęściej spalamy zanieczyszczając atmosferę. Przykładowo w pojazdach na olej napędowy dochodzi do zapłonu mieszanki powietrza i oleju napędowego pod wysokim ciśnieniem, co generuje energię kinetyczną wykorzystywaną do napędzenia pojazdu. Właśnie z uwagi na szkody środowiskowe związane ze spalaniem paliw kopalnych, coraz częściej myśli się o elektryfikacji dużej części gospodarki, a w tym transportu czy ogrzewnictwa. To z tego powodu udział energii elektrycznej w strukturze finalnego zużycia energii w Polsce mocno wzrośnie już w niedalekiej przyszłości.

Na **Rys. 3** zaprezentowano z jakich źródeł pozyskuje się energię elektryczną w Polsce⁵. Zgodnie z zaprezentowanymi wykresami kołowymi w zeszłym roku w Polsce 26% energii elektrycznej produkowaliśmy ze źródeł niskoemisyjnych (są to odnawialne źródła energii oraz energia jądrowa), a pozostałe 74% ze źródeł nieodnawialnych. Dla porównania w 2022 r. w Polsce było to odpowiednio: 19,3% i 80,7%. To dużo powyżej poziomu obserwowanego w skali świata – w 2022 r. na świecie ok. 70% energii elektrycznej produkowano ze źródeł nieodnawialnych. Z **Rys. 4** dowiesz się, jak zmieniał się udział poszczególnych źródeł energii w produkcji energii elektrycznej w skali globalnej od 1985 do 2022 r.

5 Produkcja energii elektrycznej netto – ilość energii elektrycznej wytworzonej dla potrzeb rynkowych i dostarczonej do sieci elektroenergetycznej łącznie z produkcją w pomocniczych awaryjnych agregatach z wyłączeniem elektrowni okrętowych.

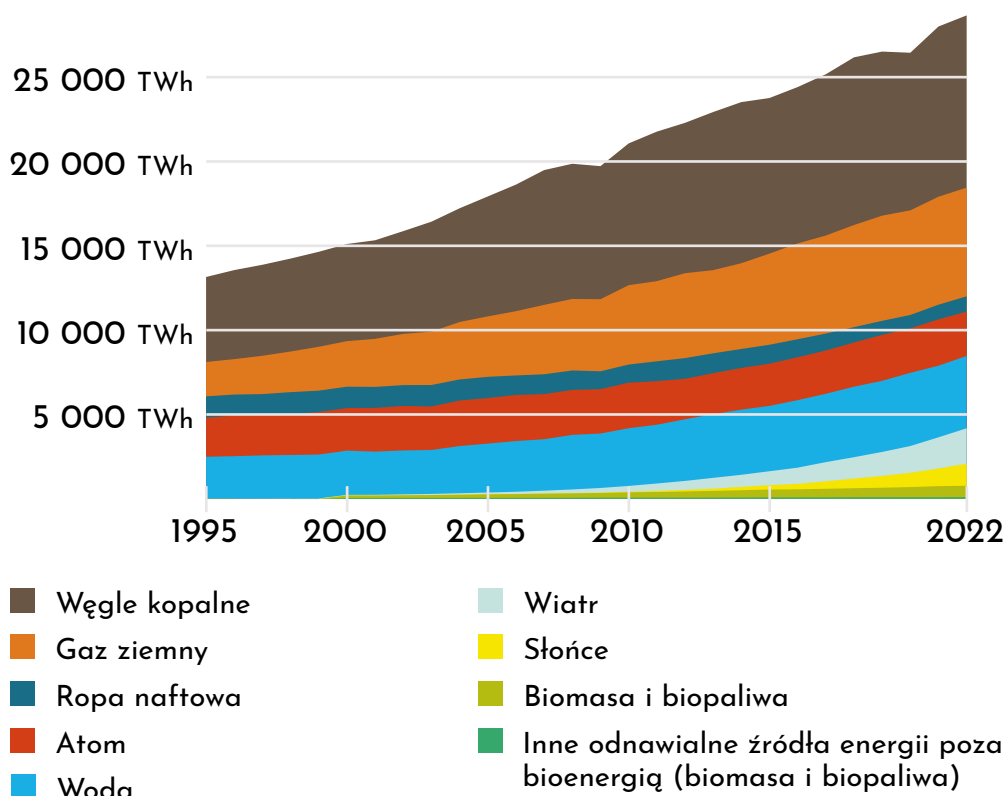




Rys. 3 Produkcja energii elektrycznej netto w Polsce w 2023 r.⁶.

⁶ https://www.energy-charts.info/charts/energy_pie/chart.htm?l=en&c=PL&year=2023





Rys. 4 Udział poszczególnych źródeł energii w produkcji energii elektrycznej na świecie⁷.

Co kryje się pod pojęciami odnawialne, nieodnawialne, nisko-emisyjne i zrównoważone źródła energii?

Do zdefiniowania odnawialnych źródeł energii (OZE) posłużę się zapisem dostępnym w polskim prawie: „Odnawialne źródło energii – odnawialne, niekopalne źródła energii obejmujące energię wiatru, energię promieniowania słonecznego, energię aerotermalną, energię geotermalną, energię hydrotermalną, hydroenergię, energię fal, prądów i pływów morskich, energię otoczenia, energię otrzymywaną z biomasy, biogazu, biogazu rolniczego, biometanu, biopłynów oraz z wodoru odnawialnego”⁸. Innymi słowy to źródła energii, które uzupełniają się/odnawiają w sposób naturalny w krótkim

⁷ <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-prod-source-stacked?stackMode=relative>

⁸ Art. 2 pkt 22 zmieniony przez art. 1 pkt 3 lit. k ustawy z dnia 17 sierpnia 2023 r. (Dz. U. 2023 poz. 1762) zmieniającej nin. ustawę z dniem 1 października 2023 r.

czasie w stosunku do długości ludzkiego życia. Do szczegółowego opisanía zalet i wad wybranych odnawialnych i nieodnawialnych źródeł energii przejdę w dalszej części tego kompendium.

Poza terminem OZE, w dyskusjach dotyczących zmian klimatycznych, możesz również usłyszeć o niskoemisyjnych źródłach energii. Należą do nich zarówno OZE, jak i energia jądrowa, które generują energię bez znacznego emitowania substancji szkodliwych dla środowiska. Przy czym nie wszystkie niskoemisyjne źródła energii są zrównoważonymi źródłami energii, czyli przyjaznymi dla środowiska. Dobrym przykładem jest tutaj biomasa, do produkcji której konieczne może być zajęcie dużych obszarów gruntów kosztem degradacji istniejących ekosystemów.

Do nieodnawialnych źródeł energii zaliczamy paliwa kopalne, takie jak węgiel, ropa naftowa i gaz ziemny. Aż 81,79% całości wykorzystywanej przez ludzi energii pierwotnej (nie tylko do produkcji energii elektrycznej) pochodzi właśnie ze spalania paliw kopalnych⁹. Paliw kopalnych nie produkujemy, lecz wydobywamy spod powierzchni ziemi. Jeżeli raz je wydobędziemy i zużyjemy, to jest to niemal definitywne. Aby mogły powstać nowe/odbudować się potrzeba wielu milionów lat. Ponieważ w skali naszego życia, to bardzo długi okres, dlatego też mówimy, że zasoby te stanowią nieodnawialne źródła energii.

Po przeczytaniu tego rozdziału:

- ✓ **Orientujesz już się, czym są nośniki energii i skąd je pozyskujemy.**
- ✓ **Wiesz jakie sektory w Polsce pochłaniają najwięcej energii.**
- ✓ **Potrafisz rozróżnić pojęcia – odnawialne źródła energii od niskoemisyjnych.**

⁹ <https://ourworldindata.org/grapher/fossil-fuels-share-energy>





Wpływ gazów cieplarnianych na temperaturę Ziemi

dr inż. Magdalena Knapkiewicz



ROZDZIAŁ 5

*Z poniższego rozdziału dowiesz się,
czy klimat Ziemi się ociepla i czy
człowiek może mieć na to wpływ?*

Zacznę od zdefiniowania pojęcia klimat. Pierwsza podana przeze mnie definicja zapewne jest Ci znana, ale w przypadku drugiej możesz spotkać się z nowym ujęciem zagadnienia.



Definicja nr 1:

Klimat to ogół zjawisk atmosferycznych (warunków pogodowych) charakterystyczny dla danego obszaru, ustalany na podstawie minimum 30-letnich obserwacji meteorologicznych. Kształtuje się pod wpływem właściwości fizycznych i geograficznych tego obszaru.¹ Pogoda, w odróżnieniu od klimatu kształtuje się w ciągu kilku godzin.

Definicja nr 2:

Klimat rozumiemy jako stan równowagi systemu klimatycznego.²

Powyższa definicja jest poszerzeniem pierwszego podanego wyjaśnienia, które jest powszechnie znane. Dlatego też skoncentruję się na niej, aby łatwiej Ci było zrozumieć istotę tematu przewodniego tego kompendium.

¹ Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowy Instytut Badawczy, IMGW.pl

² Kożuchowski K. (red.), *Meteorologia i klimatologia*. Warszawa 2009.

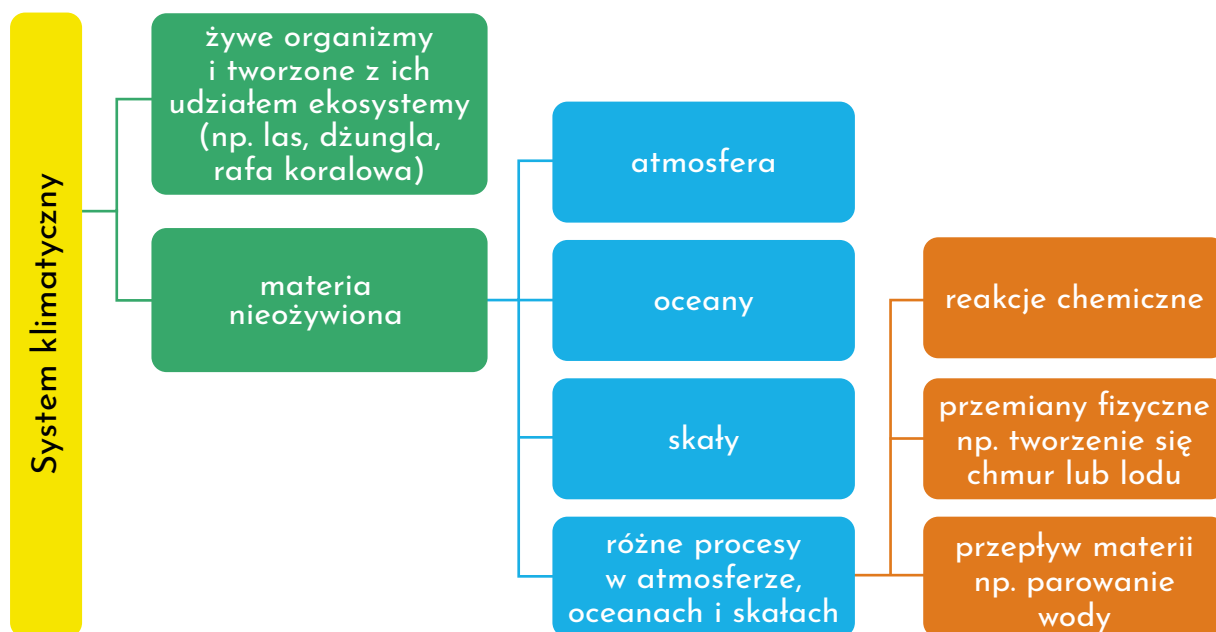


Czym zatem jest system klimatyczny? System klimatyczny Ziemi obejmuje po pierwsze materię nieożywioną, czyli: atmosferę, oceany, skały i toczące się w nich reakcje chemiczne, przemiany fizyczne (np. tworzenie się chmur lub lodu) czy przepływ materii (np. parowanie wody). Po drugie obejmuje także żywe organizmy i całe tworzone z ich udziałem ekosystemy^{3, 4}. Przedstawiono to w sposób graficzny na **Rys. 1**.

System klimatyczny dąży do osiągnięcia stanu równowagi pomiędzy emisją gazów cieplarnianych i ich pochłanianiem, pomiędzy ilością wody parującej z powierzchni Ziemi i jej ilością spadającą w tym samym czasie w postaci deszczu, czy też pomiędzy ilością energii uciekającej z Ziemi w kosmos, a tą docierającą do Ziemi ze Słońca. To niezwykle delikatny układ, którego elementy są powiązane gęstą siecią zależności, a każde zaburzenie powoduje w nim całą lawinę zjawisk⁵.

-
- 3** Praca zbiorowa, *Klimatyczne ABC. Interdyscyplinarne podstawy współczesnej wiedzy o zmianie klimatu*. Warszawa 2021.
- 4** „Ekosystem to fragment przyrody, którą tworzy zespół współzależnych od siebie organizmów roślinnych i zwierzęcych (las, jezioro, pole uprawne), oraz przestrzeń fizyczna zajmowana przez te organizmy, wchodzące we wzajemne związki. W każdym ekosystemie zachodzi przepływ energii i obieg materii dzięki istnieniu organizmów należących do trzech głównych poziomów troficznych: producentów, konsumentów i reducentów”. <https://www.lasy.gov.pl/pl/edukacja/slownik/e/ekosystem>
- 5** Więcej na ten temat możesz przeczytać tutaj: <https://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/dlaczego-klimat-sie-zmienia>





Rys. 1 Schematyczne przedstawienie elementów tworzących system klimatyczny.

Skoro już wiesz, że klimat rozpatrujemy także jako stan równowagi systemu klimatycznego, to możemy przejść do kolejnego zagadnienia, jakim są potencjalne źródła zmian klimatu. **Wszystkie znaczące organizacje naukowe zgadzają się z tym, że w ciągu ostatnich ponad 100 lat średnia temperatura Ziemi wzrosła o 1 °C, a do globalnego ocieplenia przyczyniają się ludzie, wpływając na wzrost emitowanych gazów cieplarnianych – głównie dwutlenku węgla (CO₂) ze spalania paliw kopalnych⁶. Obserwowany wzrost temperatury Ziemi wykracza poza naturalne cykle zmian klimatu.** W historii Ziemi bywały okresy dużo cieplejsze od tego, w którym obecnie żyjemy. Przykładowo 55 milionów lat temu atmosfera była na tyle ciepła, że bananowce rosły na Alasce, a krokodyle relaksowały się na plażach Oceanu Arktycznego, ale wtedy przyczyną była zmiana orbity Ziemi⁷, a nie ilość stężenia CO₂ w atmosferze.

⁶ Popkiewicz M., *Zrozumieć transformację energetyczną. Od depresji do wizji albo jak wykopywać się z dziury, w której jesteśmy*. Katowice 2023.

⁷ *Ibidem*.

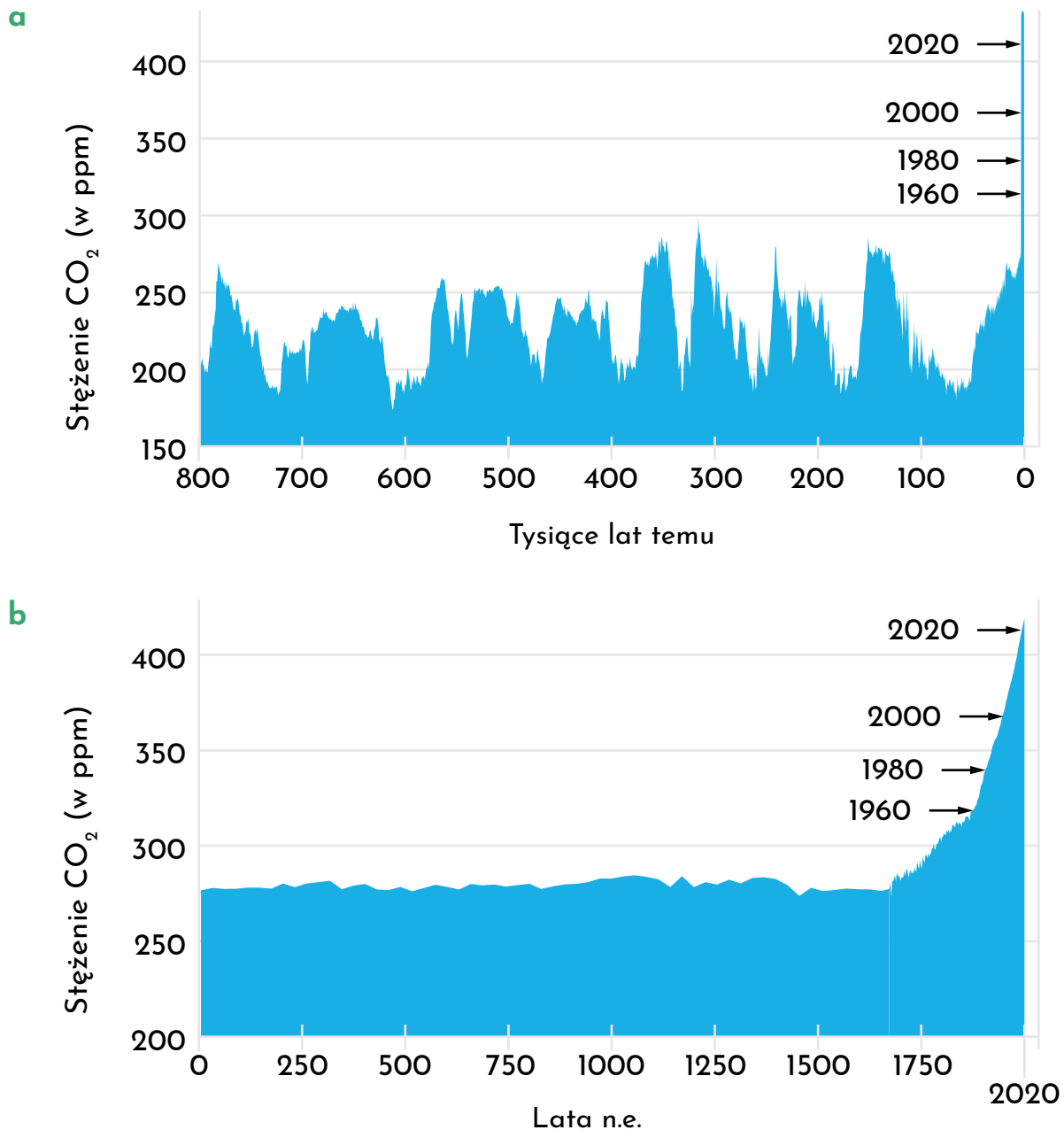
Mógłbyś teraz zadać pytanie: skąd faktycznie wiemy, że za obecny wzrost temperatury Ziemi rzeczywiście odpowiada większe stężenia CO_2 w atmosferze? Co wskazuje na to, że to właśnie jest przyczyną ocieplenia klimatu?

Poziom CO_2 w atmosferze niejednokrotnie zmieniał się w poszczególnych epokach lodowych, co widać na **Rys. 2**. Możemy zauważyć, że przed 1750 r. stężenie CO_2 czasem rosło, a czasem malało, ale nigdy nie przekroczyło 300 ppm⁸. Znaczącą rolę w zmianach klimatycznych obserwowanych na Ziemi pełnią tak zwane cykle Milankovicia opisujące regularne zmiany parametrów orbity ziemskiej, które wpływają na ilość energii słonecznej docierającej do Ziemi. Odchylenia te dotyczą: kształtu orbity Ziemi, kierunku osi obrotu Ziemi i nachylenia osi Ziemi.

Cykle Milankovicia wyjaśniają długoterminowe zmiany klimatu na Ziemi, w tym także występowanie epok lodowcowych, ale nie mogą one wyjaśnić aktualnie obserwowanego ocieplenia klimatu, ponieważ działają one w znacznie dłuższych skalach czasowych (od dziesiątek do setek tysięcy lat). Wkład cykli Milankovicia w zmiany klimatu to tylko jeden z kilku czynników. Podczas poprzednich cykli lodowcowych zmiany w zasięgu pokryw lodowych i atmosferycznego CO_2 (**Rys. 2a**) odgrywały kluczową rolę w napędzaniu wahań temperatury na Ziemi. Podczas poprzednich okresowych zmian stężenie CO_2 w atmosferze wahało się w granicach 180-280 ppm w ramach zmian klimatu wywołanych cyklem Milankovicia. Natomiast w ciągu ostatnich 270 lat (od początku epoki przemysłowej, opierającej się na wykorzystaniu głównie węgla kamiennego i ropy naftowej) stężenie CO_2 w atmosferze wzrosło o 47% z 280 ppm do 420 ppm. Obserwowane przez nas zjawisko nigdy wcześniej nie miało miejsca w historii naszej planety, a przyczynił się do niego człowiek.

⁸ Jednostka ppm to skrót od „parts per milion” – liczba cząsteczek CO_2 na milion cząsteczek powietrza.





Rys. 2 Stężenie dwutlenku węgla (w ppm) w funkcji czasu wyrażonego w tysiącach lat (**a**) oraz latach (**b**)⁹.

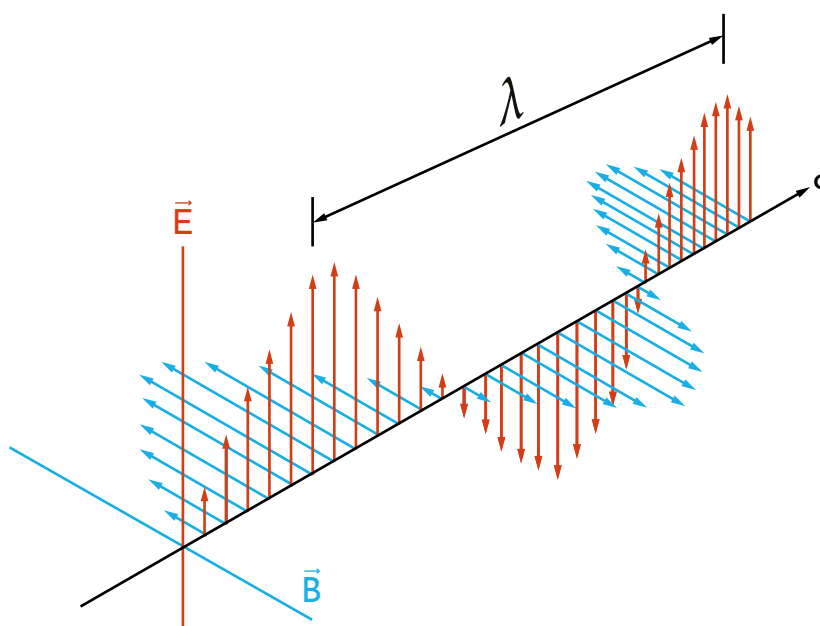
Wiesz już zatem, że nigdy w znanej nam historii klimatu Ziemi stężenie CO_2 nie rosło tak szybko jak w ostatnich latach. Wyjaśnię w związku z tym, co łączy stężenie CO_2 z temperaturą Ziemi.

⁹ <https://ourworldindata.org/grapher/co2-long-term-concentration>



Wszystkie ciała o temperaturze wyższej od zera kelwinów (0 K), czyli $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$, mogą pochłaniać i emitować promieniowanie elektromagnetyczne. Promieniowanie elektromagnetyczne emitowane przez wszystkie ciała jest nazywane promieniowaniem cieplnym lub podczerwonym (Infra-red – z ang. podczerwień, w skrócie IR). Promieniowanie elektromagnetyczne jest falą poprzeczną, którą zaprezentowano na **Rys. 3**. Tworzą ją wektory natężenia pola elektrycznego (**E**) i magnetycznego (**B**), które drgają w kierunkach prostopadłych do kierunku ruchu fali (wzdłuż osi *c*).

Wielkością charakterystyczną dla każdej fali poprzecznej jest długość fali oznaczana grecką literą lambda, λ . Długość fali jest to najmniejsza odległość między dwoma punktami fali w tej samej fazie drgań, czyli między dwoma powtarzającymi się fragmentami fali. W zależności od tego, jaki zakres długości fali obejmuje dane promieniowanie elektromagnetyczne nazywamy je w różny sposób¹⁰.

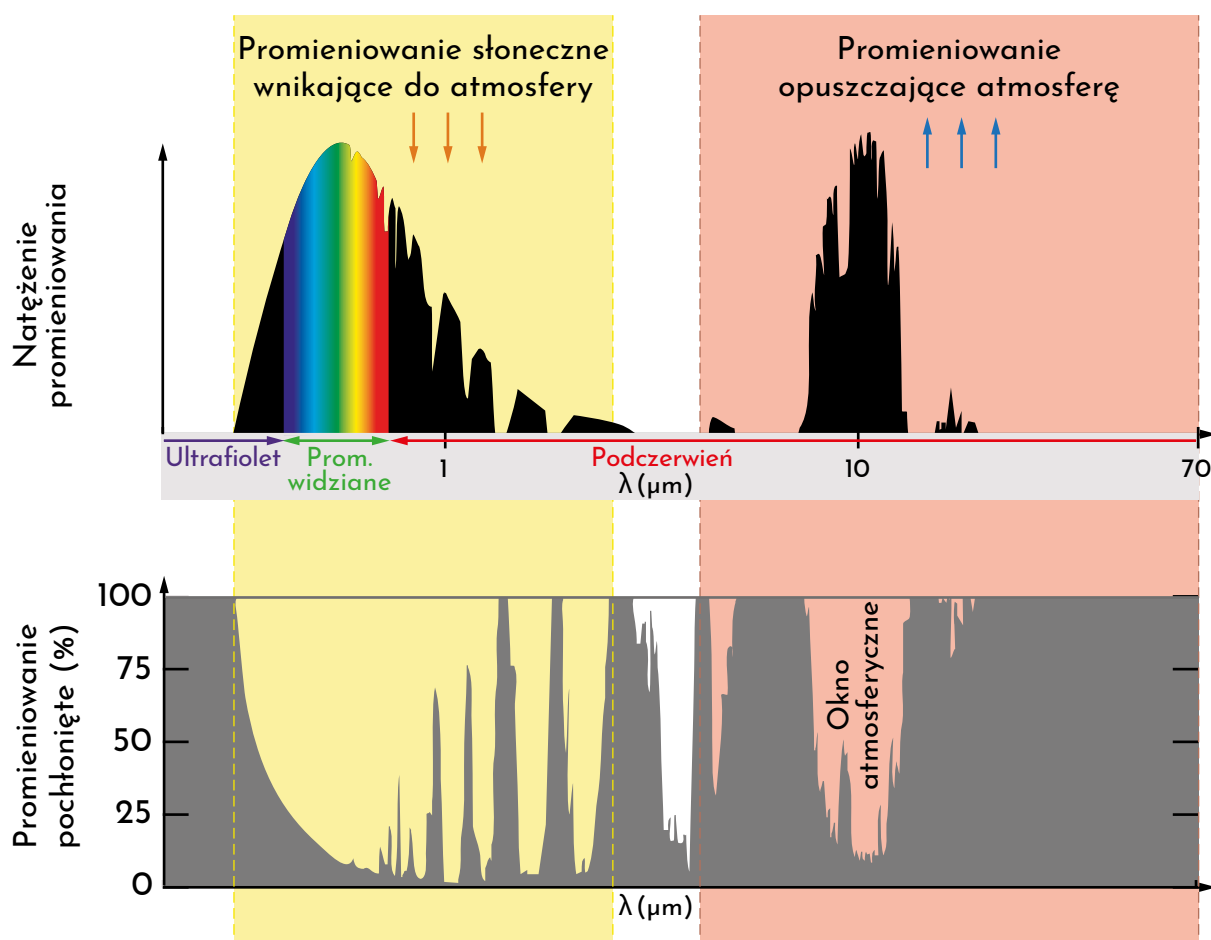


Rys. 3 Schematycznie przedstawiona fala elektromagnetyczna¹¹.

¹⁰ Jeśli chcesz dowiedzieć się więcej o falach, to zachęcam Cię do obejrzenia filmu dla dzieci pod nazwą *Fala fali nierówna* (możesz zacząć od momentu 2:98 minuty), który znajdziesz na kanale YouTube IFM PAN: <https://www.youtube.com/watch?v=zkcGQd18pU>

¹¹ <https://pixabay.com/pl/vectors/fale-elektromagnetyczne-długość-fali-1526374/>

Promieniowanie podczerwone jest promieniowaniem elektromagnetycznym z zakresu $0,78\text{--}1000\text{ }\mu\text{m}$ ¹² długości fali. Słońce, rozgrzane do temperatury $5500\text{ }^{\circ}\text{C}$, emituje promieniowanie podczerwone w zakresie tak zwanej bliskiej i średniej podczerwieni o długości fali z zakresu $0,78\text{--}4\text{ }\mu\text{m}$. Poza promieniowaniem podczerwonym gwiazda ta emituje również promieniowanie w zakresie widzialnym $0,40\text{--}0,78\text{ }\mu\text{m}$ (możliwe do wykrycia przez ludzkie oko) oraz w zakresie ultrafioletu $0,10\text{--}0,40\text{ }\mu\text{m}$, co zostało zaprezentowane na **Rys. 4**.



Rys. 4 Widmo promieniowania słonecznego (na górze po lewej), widmo promieniowania opuszczającego atmosferę Ziemi (na górze po prawej), widmo absorpcji atmosfery (na dole) — szarym kolorem zaznaczono długości fali, które pochłania atmosfera¹³.

¹² $1\text{ }\mu\text{m}$ (mikrometr) = $0,001\text{ mm}$ = $0,000001\text{ m}$.

¹³ <https://www.noaa.gov/jetstream/satellites/absorb>

Średnio około 30% promieniowania słonecznego dochodzącego do naszej planety jest odbijane przez atmosferę, 20% jest przez nią pochłaniane, a tylko 50% dociera do powierzchni Ziemi i ogrzewa ją. Ogrzana Ziemia emituje promieniowanie ciepłe (podczerwone), z czego ponad 97% występuje w zakresie długości fal 4-100 μm . Promieniowanie ciepłe jest częściowo pochłaniane przez atmosferę Ziemi i jedynie w zakresie tak zwanego okna atmosferycznego wydostaje się poza atmosferę ziemską (ucieka w kosmos). Okno atmosferyczne obejmuje promieniowanie elektromagnetyczne o długości fali w zakresie 8-14 μm , które może swobodnie przeniknąć przez atmosferę bez znaczącego pochłaniania. Jeśli okno atmosferyczne, mówiąc potocznie, stanie się „mniej przepuszczalne” dla promieniowania termicznego, to klimat Ziemi się ociepli, ponieważ utraci ona zdolność do pozbycia się takiej jak dotychczas ilości energii.

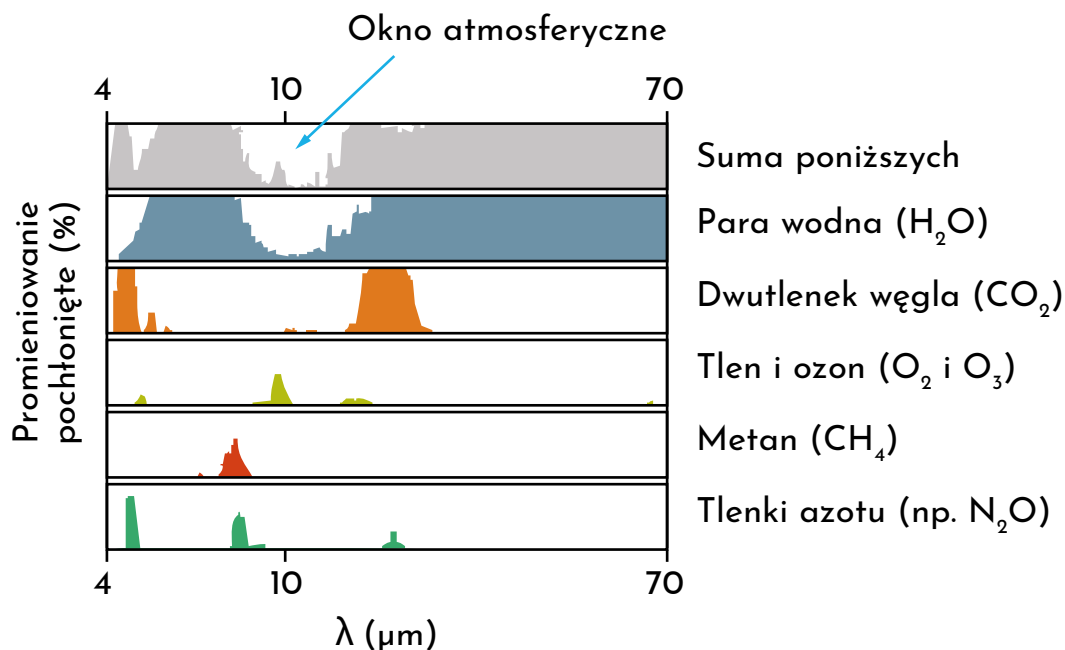
Pozostaje wyjaśnić, jakie składniki atmosfery pochłaniają promieniowanie termiczne i w jakim stopniu. Składniki te można określić przy użyciu jednego terminu, a mianowicie są to gazy cieplarniane. Najpowszechniejszym z gazów cieplarnianych w atmosferze jest para wodna (H_2O), której mamy 58-84% (wraz z chmurami) w zależności od wielu czynników np. temperatury, rzeźby terenu, aktywności atmosferycznej. Na drugim miejscu plasuje się dwutlenek węgla (CO_2) na poziomie 9-26%, następnie metan (CH_4) w przedziale 4-9% i pozostałe gazy cieplarniane, takie jak ozon (O_3), freony (np. CCl_2F_2), tlenki azotu (np. N_2O), halon (grupa związków chemicznych zawierających fluor, chlor, brom i węgiel) i inne o sumarycznym stężeniu 3-7%¹⁴.

Na **Rys. 5** możesz zobaczyć, w jakim zakresie długości fali wybrane gazy cieplarniane pochłaniają promieniowanie elektromagnetyczne. Wykres widoczny na samej górze rysunku jest sumą pięciu wykresów widocznych poniżej, tj. wykresów pokazujących, w jakim zakresie długości fali pochłaniają: para wodna, dwutlenek węgla, tlen i ozon, metan oraz tlenki azotu. W ten sposób kształtuje się tzw. okno atmosferyczne, umożliwiające emisję promieniowania ciepłego w przestrzeń kosmiczną. Z wykresu tego wynika, że

¹⁴ <https://ziemianarozdrozu.pl/efekt-cieplarniany-wprowadzenie/>



za pochłanianie promieniowania w zakresie długości fal 4-70 μm odpowiada głównie para wodna oraz CO_2 , a w mniejszym stopniu pozostałe gazy cieplarniane. Dzięki obecności w atmosferze gazów cieplarnianych na Ziemi jest ciepło, ponieważ gazy te ograniczają ucieczkę promieniowania ciepłego w przestrzeń kosmiczną.



Rys. 5 Widma absorpcji (pochłaniania) różnych gazów cieplarnianych¹⁵.

Efekt, o którym przeczytałeś powyżej, to tak zwany efekt cieplarniany i jest on czymś zupełnie naturalnym. To dzięki niemu na Ziemi może istnieć życie, w takiej a nie innej postaci. Obecne w atmosferze Ziemi gazy cieplarniane sprawiają, że temperatura jej powierzchni jest wyższa o 33 °C w porównaniu z sytuacją, gdyby ich w atmosferze nie było. Bez nich nasza planeta byłaby pokryta lodem, a średnia temperatura wynosiłaby -18 °C, zamiast ok. 15 °C, które mamy dzisiaj¹⁶.

¹⁵ https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmospheric_Transmission.svg

¹⁶ Jeśli posługujesz się językiem angielskim, to proponuję zapoznać się z materiałem dostępnym na stronie amerykańskiej agencji NASA (National Aeronautics and Space Administration, tj. Narodowa Agencja Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej): <https://climatekids.nasa.gov/greenhouse-effect/>

W ostatnich dziesięcioleciach obserwujemy poprzez satelity, że ilość promieniowania opuszczającego Ziemię i kierującego się w przestrzeń kosmiczną maleje. Zauważamy również, że dochodzi do zwiększonego pochłaniania promieniowania cieplnego właśnie przez gazy, takie jak dwutlenek węgla czy metan. Jeśli więcej promieniowania cieplnego pozostaje w atmosferze, to średnia temperatura na Ziemi wzrasta i utrzymuje się przez długi czas, a my obserwujemy ocieplenie klimatu.

Podsumowując, gazy cieplarniane są niezbędne w określonej ilości dla funkcjonowania życia na Ziemi. Problem pojawia się, kiedy ich stężenie jest zbyt wysokie, do czego obecnie przyczyniają się ludzie.

Po przeczytaniu tego rozdziału:

- ✓ **Znasz definicję klimatu.**
- ✓ **Potrafisz wymienić kilka gazów cieplarnianych.**
- ✓ **Wiesz, co jest przyczyną zmiany klimatu.**
- ✓ **Masz wiedzę, jaką rolę odgrywają gazy cieplarniane w zakresie zmian klimatu.**
- ✓ **Możesz opisać różnicę między naturalnym ociepleniem klimatu a tym, do którego przyczynia się człowiek.**





Światowe i polskie emisje CO₂

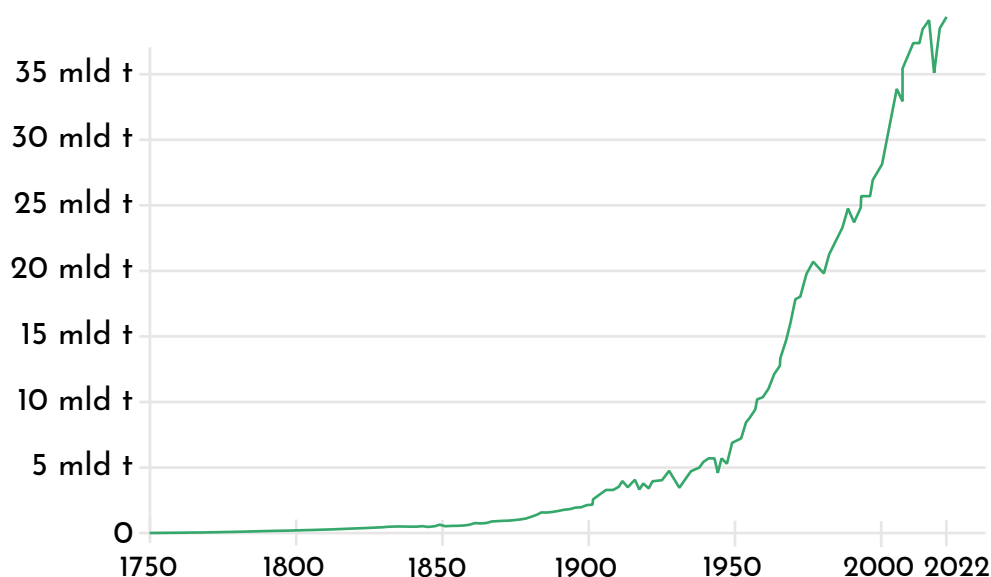
dr inż. Magdalena Knapkiewicz



ROZDZIAŁ 6

Z rozdziału 6 dowiesz się, które państwa na świecie emitują najwięcej CO₂ i jak Polska wypada na ich tle. Jest to rozdział przepiękny danymi liczbowymi, ale nie musisz ich uczyć się na pamięć, ważne, abyś wiedział, jakie wnioski możemy na ich podstawie wyciągnąć.

Na poniższym rysunku zaprezentowano, jak wzrastał poziom emisji dwutlenku węgla na świecie od 1750 r., czyli czasów przed rewolucji przemysłowej, aż do 2022 r.

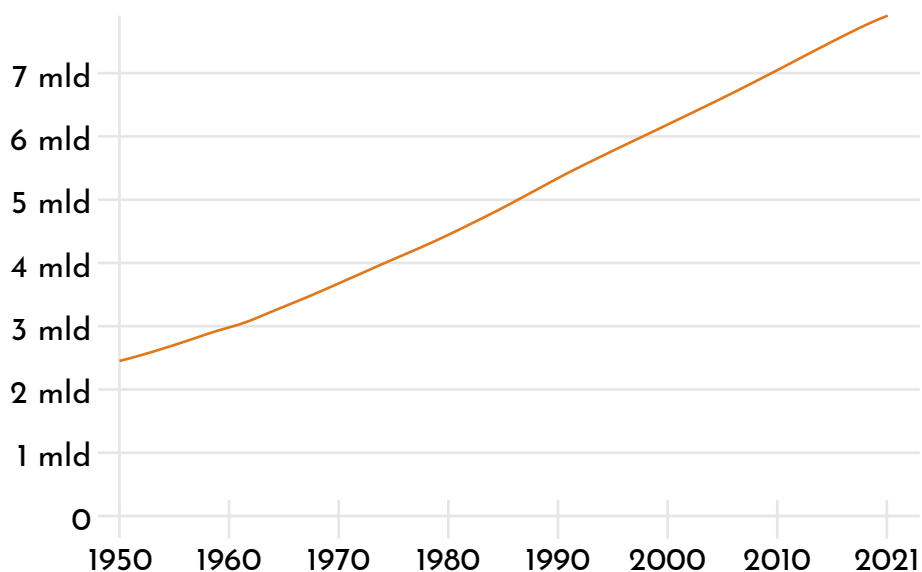


Rys. 1 Emisje CO₂ od 1750 do 2022 r. na świecie¹.

¹ <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>



Przez te wszystkie lata oprócz emisji CO₂ rosła również liczba mieszkańców na świecie (**Rys. 2**).



Rys. 2 Populacja ludzi na świecie w latach 1950-2022².

Pewnie się domyślasz, co mogło mieć na to wpływ? Odpowiedź znajdziesz w **Tab. 1**.

² <https://ourworldindata.org/population-growth>

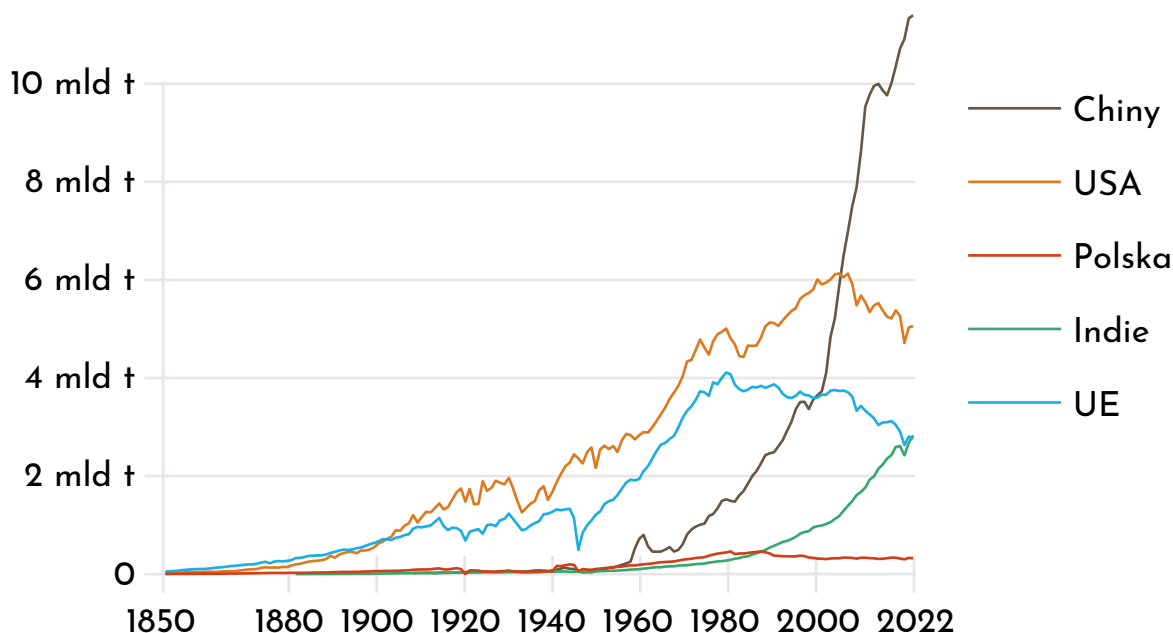


Tab. 1 Emisje CO₂ wywołane działalnością człowieka w latach 1750-2020³.

Rok	Antropogeniczne emisje CO ₂ (mld t)	Przyczyna	Liczba ludności Ziemi (mld)
1750	0,009	Nabiera tempa rewolucja przemysłowa, która rozpoczęła się w Wielkiej Brytanii i która doprowadziła do wycinania lasów i spalania węgla kamiennego na masową skalę.	0,75
1800	0,033	Rewolucja przemysłowa w Wielkiej Brytanii dalej dynamicznie postępuje.	0,98
1850	0,197	Rewolucja przemysłowa dociera, m.in. do Europy Zachodniej, na ziemię polską pod zaborem pruskim oraz do Stanów Zjednoczonych.	1,26
1900	1,95	W tym czasie zaczęto masowo wykorzystywać ropę naftową do napędzania maszyn. Na drogę uprzemysłowienia wkroczyły kraje skandynawskie, z południowo-zachodniej Europy oraz Japonia.	1,65
1950	5,93	Dalszy dynamiczny rozwój nie tylko przemysłowy, ale również technologiczny – masowa elektryfikacja i motoryzacja w krajach tzw. Zachodu, Japonii, Korei Południowej oraz bloku sowieckiego.	2,52
2000	25,5	Przemysł stał się siłą napędową rozwoju coraz większej liczby państw na całym świecie.	6,15
2010	33,3		6,98
2020	35		7,84

³ Antropogeniczny – powstały na skutek działalności człowieka lub przy jego udziale.

Z **Rys. 3** dowiesz się, jak wyglądały emisje CO₂ największych światowych emitentów (Chiny, Stany Zjednoczone i Indie), Unii Europejskiej oraz Polski w latach 1850-2022.



Rys. 3 Emisje CO₂ w czasie w wybranych krajach oraz Unii Europejskiej⁴.

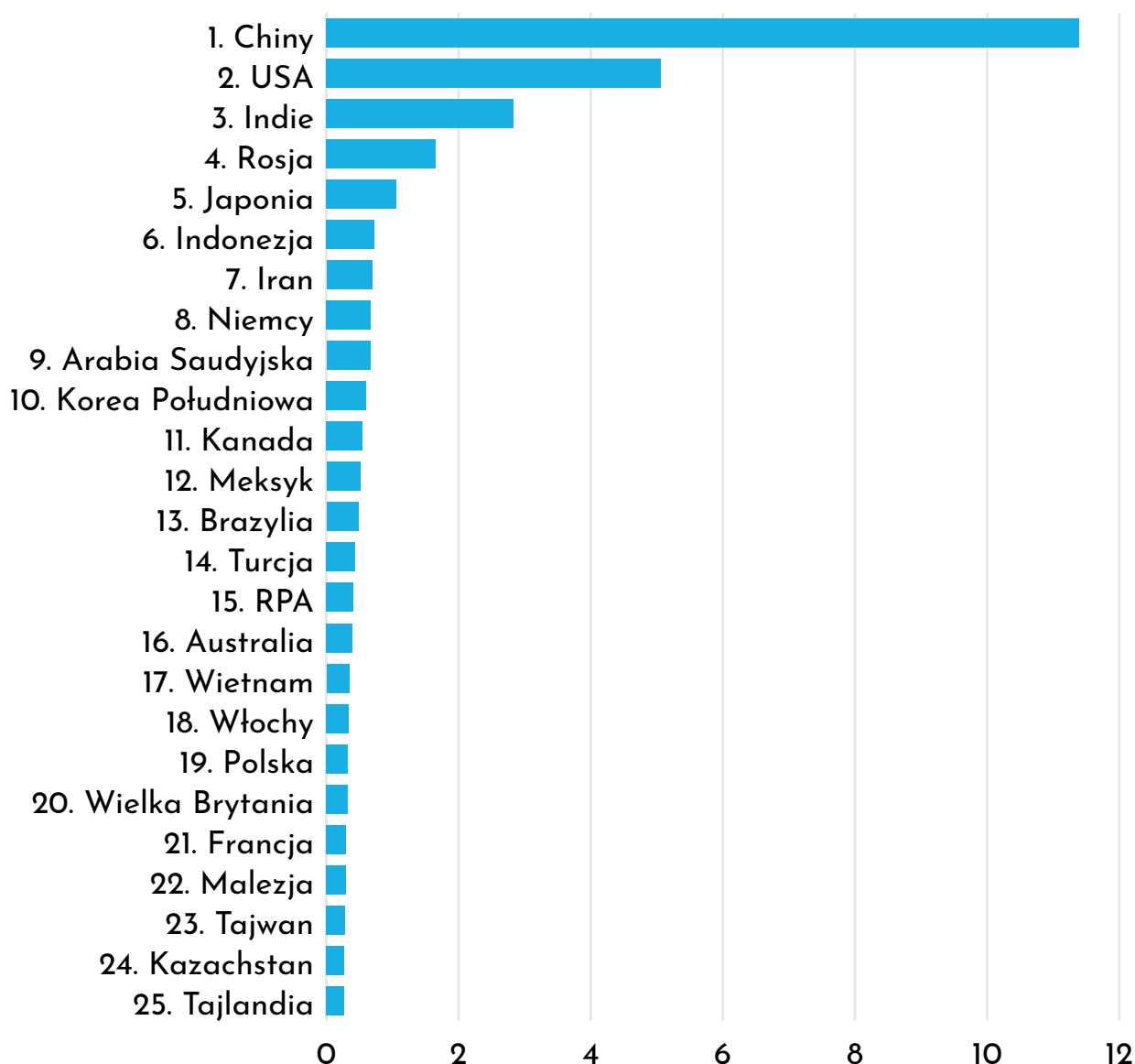
Z raportu Global Carbon Budget wynika, że w 2023 r. ludzie wyemitowali więcej gazów cieplarnianych niż w latach poprzednich, a mianowicie 36,8 mld więcej CO₂, tj. ok. 1,1% w stosunku do 2022 r.⁵ Przy czym w Chinach emisje były o 4% większe niż w 2022 r., a odpowiadają one za 32% światowej emisji CO₂. W USA w 2023 r. emisje były mniejsze niż w 2022 r. o 3%, a przypada na nie 13% globalnej emisji. Z kolei w Indiach emisje wzrosły o 8,2% w stosunku do roku 2022. W rezultacie Indie stały się odpowiedzialne za nieco ponad 8% globalnych emisji CO₂. Natomiast sumaryczne emisje krajów Unii Europejskiej (UE) w 2023 r. były mniejsze o 7,4%, a udział UE w globalnych emisjach w 2023 r. wynosił 7%.

⁴ <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>

⁵ <https://globalcarbonbudget.org/fossil-co2-emissions-at-record-high-in-2023/>



Polska w rankingu światowych emitentów CO₂ w 2023 r. zajęła 19 miejsce (**Rys. 4**), emitując 323 mln t CO₂ (0,323 mld t). Nasz kraj odpowiada za ok. 0,9% globalnych emisji CO₂. W przypadku z kolei rankingu emitentów gazów cieplarnianych, czyli emisji skumulowanej, nasz kraj w 2022 r. zajmuje dopiero 27 miejsce.

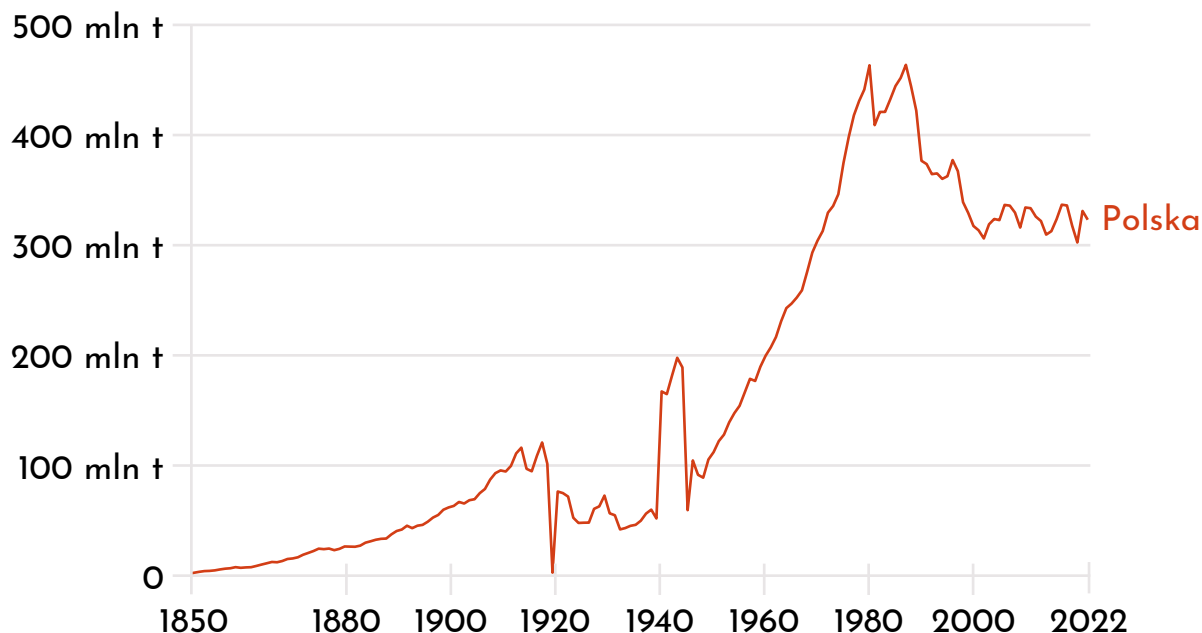


Rys. 4 Pierwsze 25 miejsc w rankingu największych emitentów CO₂ na świecie podane w mld t⁶.

⁶ <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>



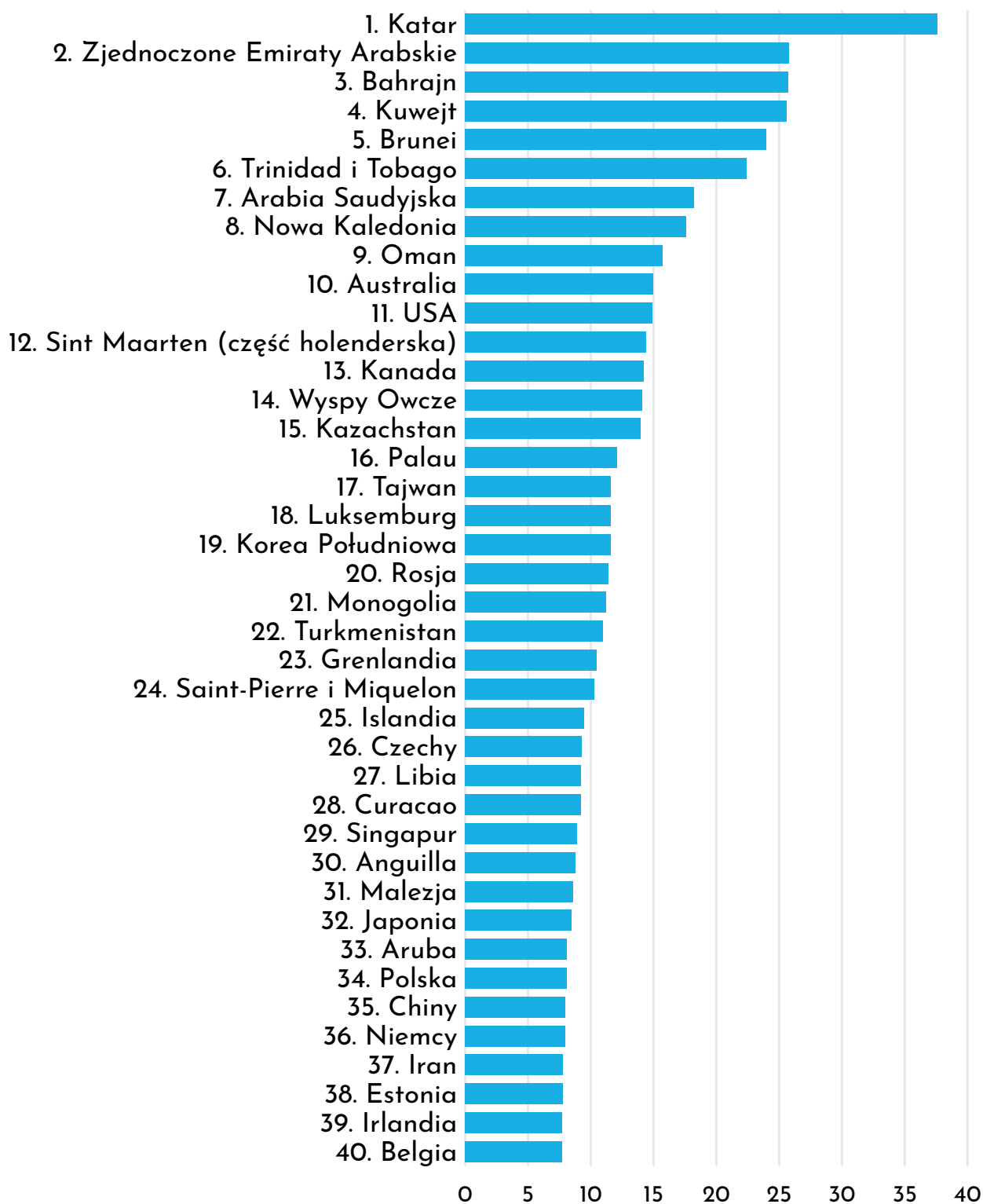
Na poniższym rysunku zobaczysz, jak zmieniał się poziom emisji CO₂ w Polsce w latach 1850-2022. Od 2000 r. emisje te oscylują wokół poziomu ok. 323 mln t.



Rys. 5 Emisje CO₂ w Polsce od 1850 r.

W przypadku, gdy rozpatrujemy emisje CO₂ na osobę w 2023 r., to nasz kraj zajmował 34 miejsce na świecie, wypadając tym samym podobnie do Chin. W poniższym rankingu, niechlubnym liderem pozostaje Katar (**Rys. 6**). Warto również nadmienić, że jeżeli uwzględniamy emisje gazów cieplarnianych w 2022 r., to Polska zajęła dopiero 47 pozycję.





Rys. 6 Pierwsze 40 miejsc w rankingu największych emitentów CO₂ w tonach na osobę na świecie w 2023 r.⁷

⁷ <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>



W maju 2022 r. Fundacja Schumana i Fundacja Adenauera przygotowała raport pod tytułem „Europa przeciw katastrofie klimatycznej”, w którym opisała wyniki badań przeprowadzonych dla wszystkich państw UE⁸. Oceniono w nim polityki publiczne na rzecz ochrony klimatu, wkład do globalnego funduszu na rzecz ochrony klimatu, udział odnawialnych źródeł energii w produkcji energii elektrycznej, działania przedsiębiorców oraz sytuację środowiskową i jakość życia (śmiertelność wywołaną zanieczyszczeniami). Według tego rankingu Polska zajęła niestety ostatnie – 27 miejsce.

Po przeczytaniu tego rozdziału już wiesz:

- ✓ O dwóch głównych czynnikach wpływających na wzrost emisji CO₂ na świecie.
- ✓ Które kraje odpowiadają obecnie za największą emisję CO₂.
- ✓ Na którym miejscu Polska plasuje się w światowym rankingu emitentów CO₂.

⁸ Helak M., *Europa przeciw katastrofie klimatycznej. Ranking najbardziej zielonych państw Unii Europejskiej*. Polityka Insight dla Polskiej Fundacji im. Roberta Schumana oraz Fundacji Konrada Adenauera. Warszawa 2022.





Statystyka i przewidywania dotyczące zmian klimatu

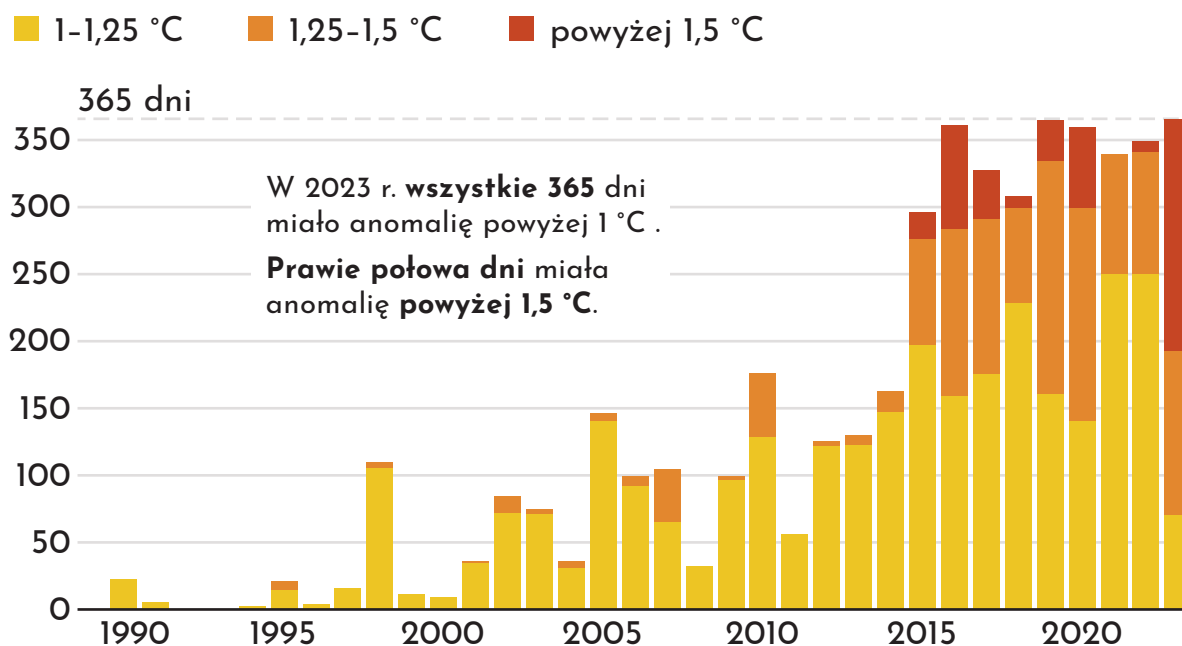
dr inż. Magdalena Knapkiewicz



ROZDZIAŁ 7

W rozdziale 7 przeczytasz, jak zmieniała się średnia temperatura na Ziemi na przestrzeni lat i jak w związku z tym może wyglądać przyszłość Ziemi.

Na poniższym rysunku zostało pokazane, w trakcie ilu dni w latach 1990-2023 średnia globalna temperatura powierzchni Ziemi przekroczyła 1°C w stosunku do czasów przedprzemysłowych (1750-1900 r.).



Rys. 1 Anomalie temperatury na Ziemi w ostatnich dekadach. Pozioma oś reprezentuje lata, natomiast oś pionowa przedstawia ilość dni w roku, kiedy to globalna średnia temperatura powierzchni Ziemi była wyższa niż temperatura z okresu przedprzemysłowego w odniesieniu do konkretnych dni o co najmniej 1°C . Kolorowe fragmenty słupków pokazują liczbę dni z anomalią temperatury w kolejnych zakresach wartości: $1-1,25^{\circ}\text{C}$, $1,25-1,5^{\circ}\text{C}$, powyżej $1,5^{\circ}\text{C}$ ¹.

¹ <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2023>

Z pewnością zauważyłeś, że w 2023 r. anomalia o wartości 1 °C wystąpiła każdego dnia, natomiast o wartości 1,5 °C przez niemal 50% dni roku. W grudniu 2023 r. zespół Global Carbon Project oszacował, z prawdopodobieństwem równym 50%, że do globalnego wzrostu temperatury powierzchni Ziemi na poziomie 1,5 °C (w stosunku do 1850 r.) dojdzie już za ok. 7 lat, jeśli będziemy emitować gazy cieplarniane na takim poziomie, jak to ma miejsce teraz. Nad raportem zawierającym powyższe informacje² pracowało ponad 100 specjalistów z 70 organizacji mieszczących się w 18 krajach.

Możesz pomyśleć, że 1,5 °C to niewiele, ale dla funkcjonowania pewnych ekosystemów na Ziemi, taka zmiana temperatury stanowi poważny problem. Przy czym, wyzwaniem nie jest trochę cieplejszy czy zimniejszy klimat, ale jego gwałtowna zmiana. Przyroda, której człowiek jest integralną częścią, dopasowała się do pewnych warunków klimatycznych występujących w określonym czasie, a ich dynamiczne wahania stanowią dla niej zagrożenie.

Pojęcie – przyroda – odnosi się do wszystkiego, co istnieje w środowisku naturalnym, niezależnie od tego, czy jest to żywa czy martwa część otaczającego nas świata. Termin ten jest szeroki i obejmuje zarówno świat roślin, zwierząt, jak i środowisko fizyczne, w tym atmosferę, wodę, glebę, a także procesy geologiczne. Człowiek zależy od innych form życia, zasobów naturalnych i funkcjonowania poszczególnych ekosystemów.

Po przekroczeniu pewnego progu, tzw. punktu krytycznego, nasza stabilna od tysięcy lat rzeczywistość może zacząć zmieniać się w sposób niekontrolowany, nierzadko nieodwracalny i napędzający destruktywne zmiany w kolejnych ekosystemach. Bardziej szczegółowe informacje na ten temat można znaleźć w raporcie przygotowanym przez Międzyrządowy Zespół ds. Zmiany Klimatu (IPCC) z 2022 r.³. Mechanizm ten przypomina efekt domina, w którym przewrócenie się jednego elementu powoduje nieodwracalny

² Friedlingstein P. i in., *Global Carbon Budget 2023*. *ESSD*, 15, 5301-5369 (2023), <https://essd.copernicus.org/articles/15/5301/2023/essd-15-5301-2023.html>

³ Interdyscyplinarny zespół doradczy ds. kryzysu klimatycznego działający przy prezesie PAN. Polska wersja językowa *Podsumowania dla Decydantów*, WGII, drugiej części 6 Raportu Podsumowującego Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (ang. IPCC – International Panel on Climate Change), https://pan.pl/wp-content/uploads/2022/12/Zalacznik_Raport_IPCC_cz2.pdf



upadek kolejnych, czyli poszczególnych ekosystemów, a w efekcie prowadzi do katastrofy klimatycznej. **Katastrofę klimatyczną można zdefiniować jako pojawienie się zagrożeń dla warunków do życia i przetrwania ludzi w długim okresie czasu.**

Punktem krytycznym dla rozpoczęcia degradacji różnych unikatowych systemów ekologicznych jest wzrost średniej temperatury powierzchni Ziemi o określoną wartość inną dla różnych ekosystemów.

Zgodnie z raportem IPCC z 2018 r.⁴, za niebezpieczną zmianę klimatu można już uznać podwyższenie temperatury globalnej o 1,5 do 2 °C w stosunku do temperatury na Ziemi w czasach przedprzemysłowych. Po przekroczeniu temperatury powyżej 1,5 °C może zacząć dochodzić do zmian, których nie będziemy w stanie odwrócić.

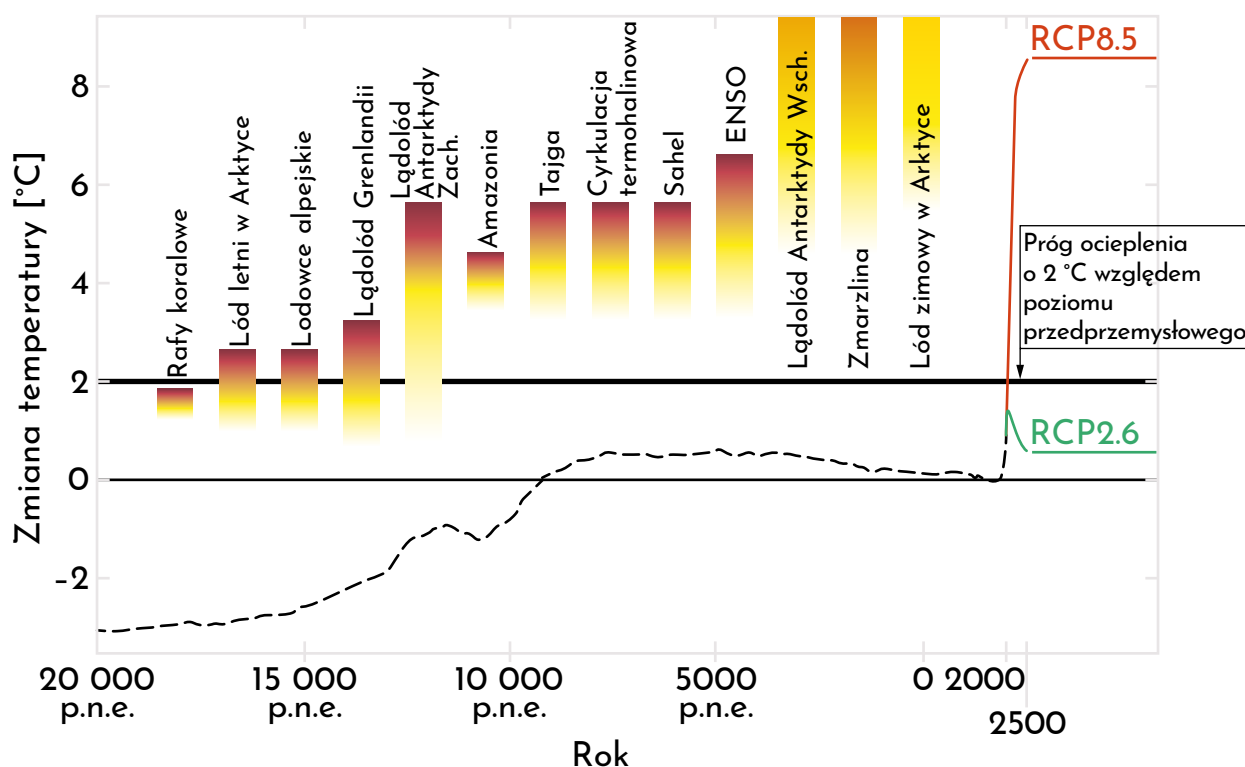
Na **Rys. 2** zobaczysz, jak zmieniała się temperatura na Ziemi na przestrzeni czasu zaczynając od 20 000 lat p.n.e. po dzień dzisiejszy, jak również zapoznasz się z możliwymi scenariuszami zmian temperatury w niedalekiej przyszłości (w zależności od planowanych działań na rzecz ochrony klimatu). Scenariusz opisany jako RCP8.5⁵ mówi o spalaniu przez nas wszystkich paliw kopalnych, natomiast RCP2.6 uwzględnia ograniczenie emisji gazów cieplarnianych przez człowieka do takiego stopnia, w którym w II połowie XXI w. spadną one do zera. Zgodnie z danymi zawartymi na tym rysunku już dzisiaj możemy zaobserwować chociażby procesy degradacji raf koralowych tzw. blaknięcie. Masowe wymieranie i niszczenie koralowców dotyczy m.in. Wielkiej Rafy Koralowej⁶. Po fali rekordowych upałów w 2016 r. jej koralowce zaczęły natychmiast obumierać. Aktualnie także w znacznym stopniu zagrożone są: lód letni w Arktyce, lodowce alpejskie, Łądolód Grenlandii oraz Łądolód Antarktydy Zachodniej.

4 Intergovernmental Panel on Climate Change, *Special Report on Global Warming of 1.5 °C, Summary for Policymakers*, <https://www.ipcc.ch/sr15/>

5 Skrót RCP odnosi się do tzw. wymuszenia radiacyjnego, a liczba 8,5 to jego poziom osiągnięty w 2100 r.: 8,5 W/m².

6 Hughes T. P. i in., *Global warming transforms coral reef assemblages*. *Nature*, 556, 492-496 (2016).





Rys. 2 Zmiany średniej temperatury powierzchni Ziemi wraz z różnymi scenariuszami przyszłej zmiany klimatu. Prostokąty obrazują progi przekraczania punktów krytycznych ziemskiego systemu klimatycznego: kolor żółty oznacza „możliwe”, kolor czerwony „pewne”⁷.

Z powodu zmiany klimatu w skali globalnej rośnie częstość występowania oraz intensywność zjawisk, takich jak: susze, gwałtowne i nawałne opady czy cyklony tropikalne. Szczegółowo możesz o tym przeczytać w odnoszących się do licznych publikacji naukowych artykułach, takich jak „Coraz silniejsze huragany [i nie jest to drobny efekt]”⁸ czy „Europejskie Akademie Nauk: coraz więcej ekstremalnych zjawisk w Europie”⁹.

⁷ Schellnhuber H., Rahmstorf S. i Winkelmann R., *Why the right climate target was agreed in Paris*. *Nature Clim Change*, 6, 649-653, (2016), <https://doi.org/10.1038/nclimate3013>

⁸ Popkiewicz M., *Coraz silniejsze huragany [i nie jest to drobny efekt]*, <https://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/coraz-silniejsze-huragany-i-nie-jest-to-drobny-efekt-296>

⁹ Kardaś A. *Europejskie Akademie Nauk: coraz więcej ekstremalnych zjawisk w Europie*, <https://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/europejskie-akademie-nauk-coraz-wiecej-ekstremalnych-zjawisk-w-europie-304>

Jeżeli sprawnie władasz językiem angielskim, to na platformie „global **Carbon Atlas**”¹⁰ możesz obserwować, analizować i wizualizować najnowsze dane na temat emisji CO₂ wynikające z działań człowieka oraz procesów naturalnych. Przykładowo możemy zobaczyć scenariusze dotyczące tego, jakie zmiany mogą zajść na lądzie, w oceanach oraz atmosferze Ziemi do 2100 r. w zależności od obserwowanego w danym roku stężenia CO₂. Ważne jednak, aby pamiętać, że są to oparte na badaniach naukowych wyłącznie przewidywania. Zgodnie z „global **Carbon Atlas**”, jeżeli w 2100 r. stężenia CO₂ wyniesie 500 ppm (czyli ok. 90 ppm więcej niż w 2020 r.) to w przypadku:

1. Oceanów:

- Poziom wód wzrasta z 0,3 do 0,6 metra i utrzymuje się na tym poziomie. Długoterminowa trwałość wielu osiedli przybrzeżnych i infrastruktury na całym świecie jest zagrożona.
- Dwie trzecie raf koralowych na świecie ulegają długotrwałemu uszkodzeniu.
- Potencjał połowów ryb wzrasta o 30-70% w wysokich szerokościach geograficznych i spada o 40-60% w strefie tropikalnej i na Antarktydzie.
- Obszar lodu morskiego w Arktyce we wrześniu staje się o 60% mniejszy niż aktualnie.

2. Lądów:

- Obszar wiecznej zmarzliny kurczy się o 50% i staje się coraz większym źródłem emisji CO₂ i metanu do atmosfery.
- Lokalny wzrost temperatury o 1 °C negatywnie wpływa na plony podstawowych upraw (pszenica, ryż i kukurydza) w strefach tropikalnych i umiarkowanych.

¹⁰ <https://globalcarbonatlas.org/emissions/carbon-story/>



- Wiele gatunków roślin nie będzie w stanie rosnąć wystarczająco szybko, aby dostosować się do odpowiednich klimatów, co zwiększy ryzyko ich wymarcia.
- Skuteczność roślinności w usuwaniu CO₂ z atmosfery będzie malała.

3. Atmosfery:

- Fale upałów zwiększają się znacząco pod względem intensywności i długości trwania.
- Opady deszczu nasilą się na poziomie regionalnym. Mokre i zimne obszary północne stają się jeszcze bardziej deszczowe. Obszary półpustynne i pustynne stają się bardziej suche.
- Ekstremalne zdarzenia opadów deszczu są bardziej intensywne i częstsze w większości obszarów umiarkowanych i wilgotnych tropików. Globalne opady deszczu rosną, a wraz z nimi wzrasta prawdopodobieństwo występowania powodzi.

Według książki dziennikarza naukowego i popularyzatora nauki Marcina Popkiewicza¹¹ już za 50 lat możemy doprowadzić do sytuacji, w której obszary na Ziemi z ekstremalnie upalnymi warunkami do życia rozszerzą się z aktualnych 0,8% do 19% powierzchni lądów w 2070 r. (scenariusz RCP8.25 na **Rys. 2**). Mówiąc o ekstremalnych warunkach życia ze względu na upały, autor ma na myśli utrzymującą się średnią temperaturę roczną wynoszącą 29 °C z uwzględnieniem nocy i chłodnej pory roku. Tereny, na których wg podanego scenariusza wystąpią ekstremalnie upalne warunki zamieszkuje dzisiaj ok. 3,5 mld mieszkańców. Wzrost temperatury powierzchni Ziemi może doprowadzić do migracji miliardów ludzi, którzy będą szukać bardziej sprzyjających warunków do życia.

¹¹ Popkiewicz M., *Zrozumieć transformację energetyczną. Od depresji do wizji albo jak wykopywać się z dziury, w której jesteśmy*. Warszawa 2023.



Na koniec rozdziału chciałabym pokazać opinie Polaków na temat katastrofy klimatycznej, które zostały zebrane i przeanalizowane w raporcie „Ziemia atakuje”¹². Zgodnie z nim 16% naszego społeczeństwa, czyli co 6 Polak, uważa katastrofę klimatyczną za wymyślony problem, który nas nie dotknie (**Rys. 3**). A jakie są Twoje odpowiedzi na poniższe pytania?



Rys. 3 Postawy Polaków wobec katastrofy klimatycznej¹³.

¹² Eksperti Kantar Polska, European Climate Foundation, United Nations Global Compact Network Poland oraz agencji zielonych transformacji Lata Dwudzieste. *Raport Ziemia atakuje 2022*, <https://ziemianieatakuja.pl>

¹³ Ibidem.

Po przeczytaniu tego rozdziału:

- ✓ *Wiesz, jaki był wzrost temperatury na świecie w ostatnich latach w stosunku do czasów przedprzemysłowych.*
- ✓ *Zdajesz sobie sprawę, do czego może doprowadzić pozornie niewielka zmiana temperatury.*
- ✓ *Posiadasz wiedzę dotyczącą najbardziej zagrożonych obecnie ekosystemów.*
- ✓ *Rozeznajesz się, jaka jest opinia Polaków na temat katastrofy klimatycznej.*





Źródła emisji gazów cieplarnianych

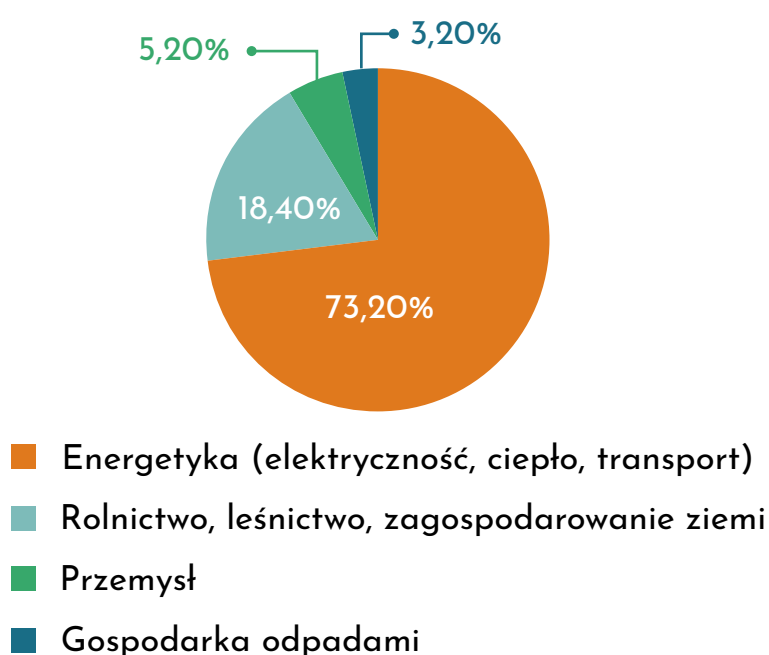
dr inż. Magdalena Knapkiewicz



ROZDZIAŁ 8

Emisje gazów cieplarnianych pochodzą z wielu sektorów gospodarki, a dokładnie z jakich dowiesz się z rozdziału 8.

Emisje gazów cieplarnianych pochodzą z wielu źródeł, niektóre z nich są od siebie uzależnione w większym lub mniejszym stopniu. Na poniższym rysunku zaprezentowałam, jak wyglądają globalne emisje gazów cieplarnianych z podziałem na poszczególne sektory. W dalszej części tego rozdziału szczegółowo im się przyjrzymy.



Rys. 1 Udział poszczególnych sektorów w globalnych emisjach gazów cieplarnianych (dane z 2020 r.)¹.

¹ <https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector>

Ponad 73% gazów cieplarnianych pochodzi z produkcji energii, w ramach której możemy wyróżnić (**Rys. 2**):

1. Energię dla przemysłu, tj. emisje związane z:

- wytwarzaniem żelaza i stali (7,2%);
- produkcją nawozów, farmaceutyków, czynników chłodniczych, wydobywaniem ropy i gazu itp. (3,6%);
- produkcją wyrobów tytoniowych i przetwórstwem żywności (1%);
- produkcją metali nieżelaznych (0,7%);
- przetwarzaniem drewna na papier (0,6%);
- produkcją maszyn (0,5%);
- produkcją energii dla innych branż (10,6%), takich jak: górnictwo, budownictwo, tekstylia, wyroby drzewne i sprzęt transportowy.

2. Energię dla infrastruktury budynków, zużywaną w:

- budynkach mieszkalnych (10,9%): emisje związane z energią z generacji prądu elektrycznego do oświetlenia, urządzeń gospodarstwa domowego, gotowania oraz ogrzewania w domu;
- budynkach komercyjnych (6,6%), tj. biurach, restauracjach, sklepach itp.: emisje związane z energią z generacji prądu elektrycznego do oświetlenia, pracy urządzeń elektrycznych oraz ogrzewania.

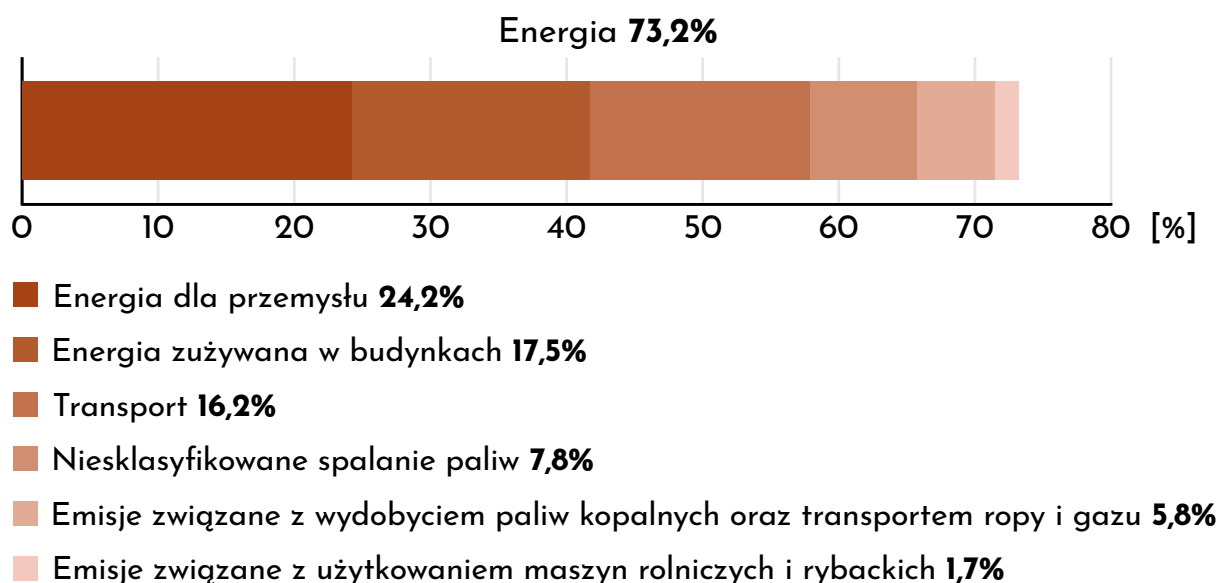
3. Energię dla transportu:

- transport drogowy (11,9%): emisje związane ze spalaniem benzyny i oleju napędowego we wszystkich formach transportu drogowego. 60% emisji z transportu drogowego pochodzi z podróży pasażerskich (samochody, motocykle i autobusy), a pozostałe 40% z transportu towarowego (ciężarówki);



- lotnictwo (1,9%): emisje z podróży pasażerskich i towarowych, zarówno lotnictwa krajowego jak i międzynarodowego. 81% emisji lotnictwa pochodzi z podróży pasażerskich, a 19% z przewozu towarów;
 - żegluga (1,7%): emisje związane ze spalaniem benzyny lub oleju napędowego przez łodzie. Obejmuje zarówno podróże morskie pasażerskie jak i towarowe;
 - kolej (0,4%): emisje z podróży kolejowych pasażerskich i towarowych;
 - rurociągi (0,3%): paliwa i towary (np. olej, gaz, woda lub para) często muszą być transportowane, zarówno w obrębie kraju, jak i poza jego granice, za pomocą rurociągów. Wymaga to także zużycia energii i prowadzi do emisji.
- 4. Niesklasyfikowane spalanie paliw (7,8%):** emisje związane z energią pochodzącą z innych paliw, w tym prądu elektrycznego i ciepła z biomasy, lokalnych źródeł ciepła, kogeneracji, branży nuklearnej oraz pomp przepływowych w elektrowniach szczytowo-pompowych.
- 5. Pozostałe:** emisje związane z wydobyciem i transportem ropy i gazu (5,8%) wynikające z uszkodzonych lub niewłaściwie utrzymanych rurociągów. Obejmuje to również celowe spalanie gazu na obiektach naftowych. A także przypadkowe wycieki metanu podczas wydobycia węgla (1,9%).
- 6. Emisje związane z użytkowaniem maszyn rolniczych i rybackich (1,7%).**





Rys. 2 Udział w globalnych emisjach gazów cieplarnianych sektora energii i jego podsektorów².

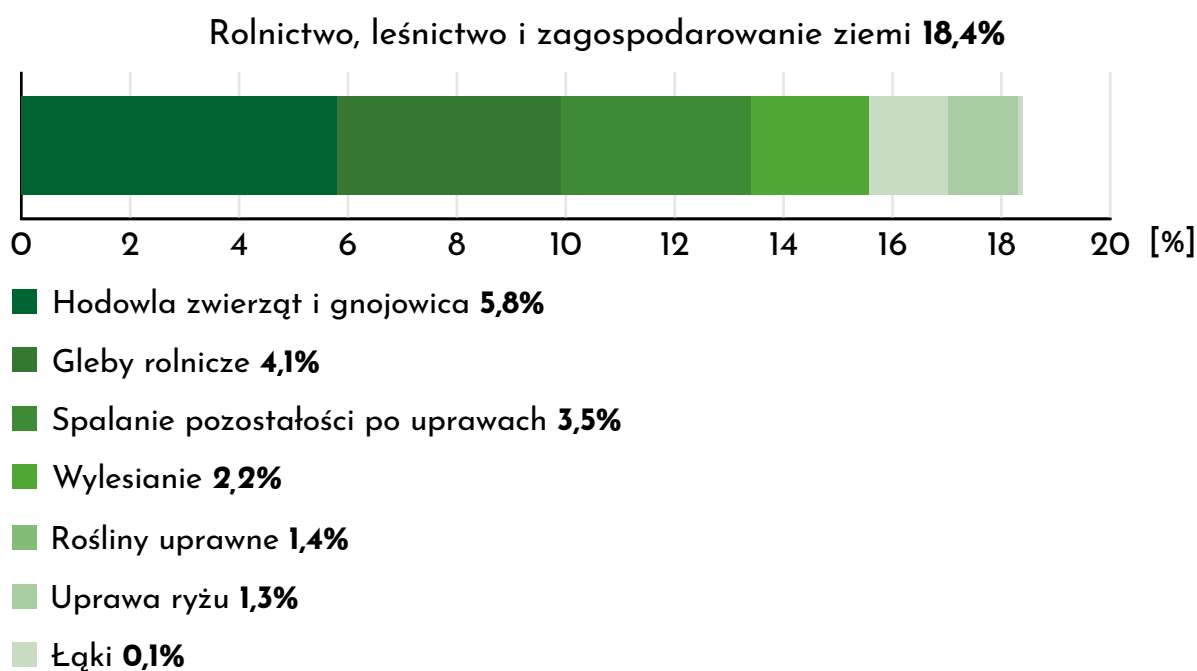
Ponad 18% emisji gazów cieplarnianych ma związek z rolnictwem, leśnictwem i zagospodarowaniem ziemi (**Rys. 3**), składają się na nie:

1. Emisje związane z hodowlą zwierząt i gnojowica (5,8%): zwierzęta (głównie przeżuwacze, takie jak bydło i owce) emitują gazy cieplarniane poprzez proces zwany „fermentacją żwaczową” – mikroorganizmy w ich układach trawiennych rozkładając pokarm, wytwarzają metan jako produkt uboczny.
2. Nawożenie gleb rolniczych (4,1%): podtlenek azotu, który jest silnym gazem cieplarnianym, powstaje, gdy na glebach stosuje się syntetyczne nawozy azotowe.
3. Spalanie pozostałości po uprawach (3,5%): wypalanie pól po zbiorach.
4. Emisje, wynikające ze zmian w lesistości (2,2%): zalesianie jest uznawane za „ujemne emisje”, a wylesianie za „dodatnie emisje”. Emisje te opierają się na zniszczeniu magazynów węgla, jakimi są lasy oraz na zmianach w zasobach węgla organicznego zgromadzonego w glebach leśnych.

² <https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector>



5. Emisje związane z uprawą roślin (1,4%): w zależności od sposobu uprawy roślin na polach uprawnych węgiel może zostać utracony lub przeniesiony do gleby i biomasy. Ma to wpływ na bilans emisji CO₂, który może być emitowany podczas degradacji pól uprawnych lub magazynowany po ich przywróceniu.
6. Uprawa ryżu (1,3%): zalane pola ryżowe produkują metan w procesie zwanym „fermentacją beztlenową”. Substancje organiczne w glebie przekształcają się w metan ze względu na niskotlenowe środowisko zalanych pól ryżowych.
7. Łąki (0,1%): ulegając degradacji gleby mogą tracić węgiel, przekształcając go w CO₂. W przypadku gdy łąki są przywracane (na przykład z terenów uprawnych), to węgiel może być zmagazynowany.



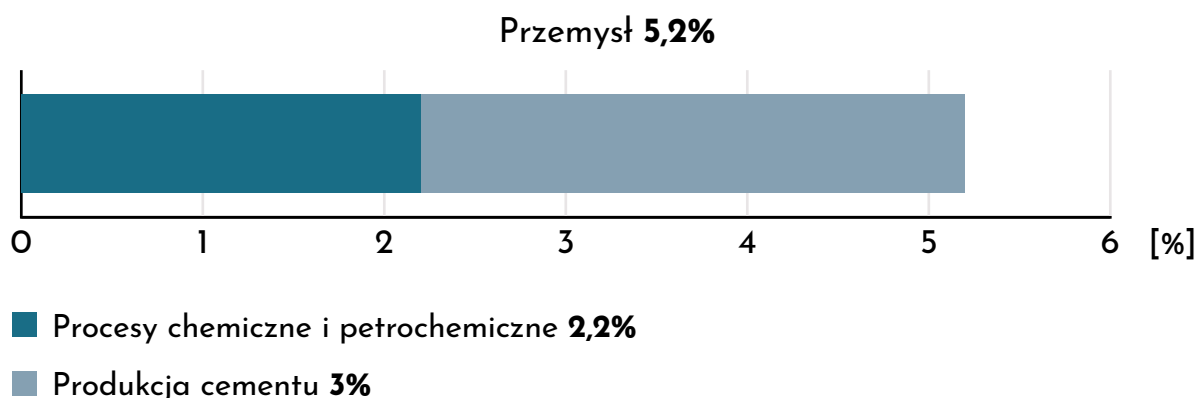
Rys. 3 Udział w globalnych emisjach gazów cieplarnianych dotyczący obszarów: rolnictwa, leśnictwa, zagospodarowania ziemi i jego podsektorów³.

³ <https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector>



Emisje związane z przemysłem w których skład wchodzi (Rys. 4):

1. Produkcja cementu (3%): podczas produkcji klinkieru (składnik cementu) węglan wapnia jest rozkładany na tlenek wapnia i dwutlenek węgla.
2. Przeprowadzanie procesów chemicznych i petrochemicznych (2,2%): gazy cieplarniane są emitowane podczas produkcji amoniaku, środków czyszczących i wielu innych materiałów, w tym także plastiku, nawozów, pestycydów i tekstyliów.



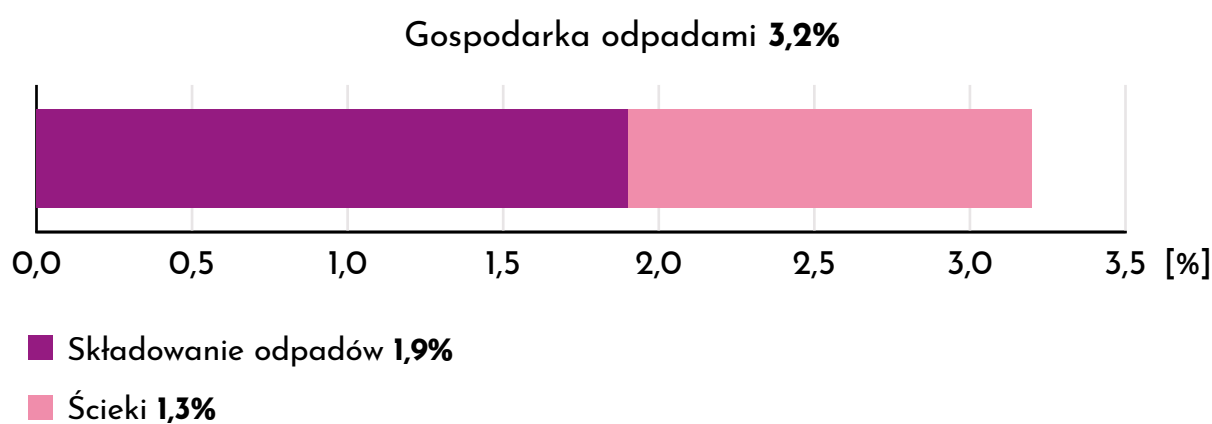
Rys. 4 Udział w globalnych emisjach gazów cieplarnianych sektora przemysłu i jego podsektorów⁴.

⁴ <https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector>



Emisje związane z gospodarką odpadami (3,2%) obejmują (**Rys. 5**):

1. Składowiska odpadów (1,9%): składowiska odpadów są często środowiskiem o niskiej zawartości tlenu. W tych warunkach substancje organiczne ulegają przemianie w metan podczas procesu rozkładu.
2. Ścieki (1,3%): substancje organiczne i pozostałości od zwierząt, roślin, ludzi i ich produktów odpadowych, które mogą gromadzić się w systemach kanalizacyjnych. Kiedy te substancje organiczne ulegają rozkładowi, powstaje metan i podtlenek azotu.

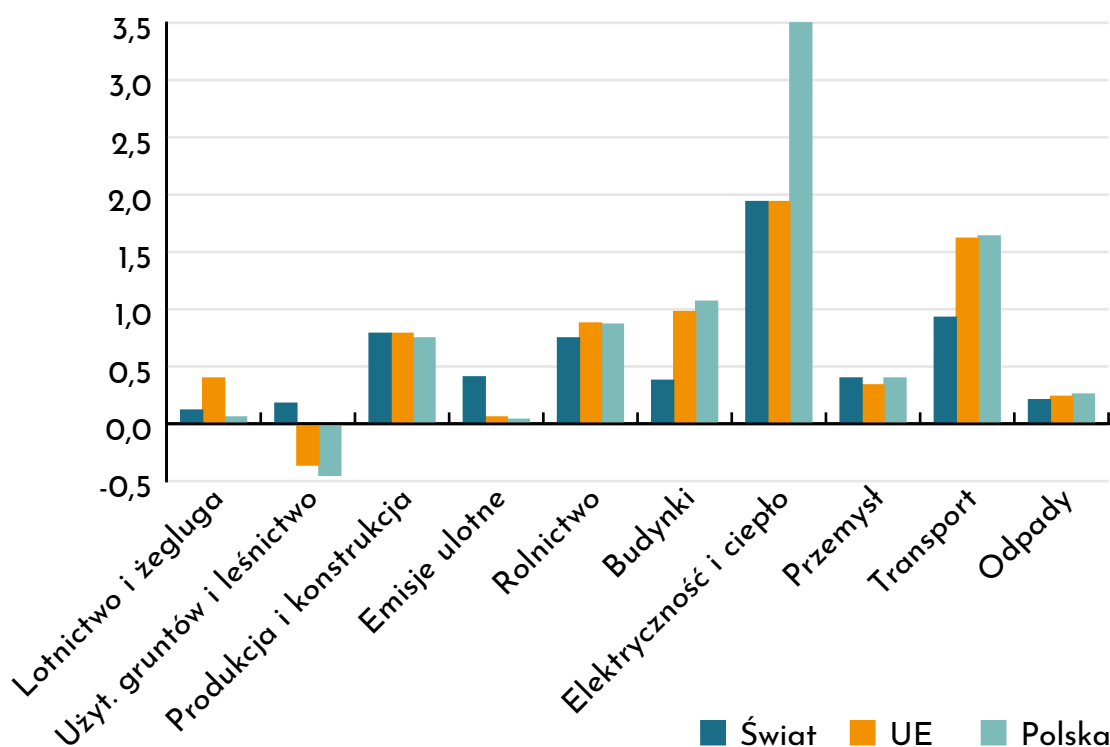


Rys. 5 Udział w globalnych emisjach gazów cieplarnianych sektora gospodarki odpadami i jego podsektorów⁵.

Na **Rys. 6** pokazano jak wyglądają emisje gazów cieplarnianych na osobę według sektorów gospodarki na świecie, w Unii Europejskiej i w Polsce. Poza jednym wyjątkiem (emisje z użytkowania gruntów i leśnictwa) Polska emituje więcej gazów cieplarnianych na osobę w każdym z rozważanych sektorów w porównaniu do średnich emisji UE i światowej.

⁵ <https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector>





Rys. 6 Emisja gazów cieplarnianych na osobę dla poszczególnych sektorów gospodarki podana w tonach ekwiwalentu CO₂e⁶ (dane z 2020 r.)⁷.

Na szczególną uwagę zasługują widoczne różnice pomiędzy emisjami UE i Polską, ponieważ porównujemy tutaj naszą sytuację do sąsiednich krajów – wysokorozwiniętych, których położenie geograficzne jest zbliżone do Polski. Najmniej korzystnie wypadamy w przypadku wytwarzania elektryczności i ciepła. W kolejnym rozdziale przyjrzymy się, w jaki sposób można wytwarzać energię elektryczną oraz jakie wady i zalety posiadają najczęściej używane źródła energii.

⁶ „Ekwiwalent dwutlenku węgla – uniwersalna jednostka służąca do pomiaru emisji gazów cieplarnianych, która odzwierciedla ich różny współczynnik ocieplenia globalnego. Określa stężenie dwutlenku węgla, którego emisja do atmosfery miałaby identyczny skutek jak dane stężenie porównywalnego gazu cieplarnianego. CO₂e jest wyrażane w ppmv”. Definicja za: <https://www.teraz-srodowisko.pl/sloownik-ochrona-srodowiska/definicja/ekwiwalent-dwutlenku-wegla.html>

⁷ <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>

Po przeczytaniu tego rozdziału:

- ✓ **Masz już świadomość, jakie sektory odpowiadają za emisje gazów cieplarnianych.**
- ✓ **Wiesz, który z sektorów gospodarki przyczynia się do największych emisji.**
- ✓ **Zdajesz sobie sprawę, jak wypada Polska na tle innych krajów UE pod względem emisji gazów cieplarnianych.**





Zalety i wady energetyki odnawialnej i nieodnawialnej

dr inż. Magdalena Knapkiewicz
dr inż. Natalia Bielejewska



ROZDZIAŁ 9

Po przeczytaniu rozdziału 4 już znasz definicję odnawialnych i nieodnawialnych źródeł energii, z kolei z poniższego dowiesz się, jakie są ich rodzaje oraz jakie są plusy i minusy ich wykorzystywania.

NIEODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII

Paliwa kopalne (ropa naftowa, gaz ziemny i węgle kopalne) zdominowały świat, dlatego, że dostarczają duże ilości energii, są łatwe w transporcie, dobrze opanowaliśmy technologię ich wydobycia, można je łatwo przechowywać i wykorzystać w wybranym przez nas czasie. Nie jest istotne zgranie podaży z popytem, czyli zapotrzebowaniem, ponieważ możemy po nie sięgnąć i wykorzystać w dowolnym momencie.

Niewątpliwie docenisz dostępność paliw kopalnych na poniższym przykładzie. Przyjmijmy, że za litr paliwa na stacji benzynowej zapłacisz 7 zł oraz, że Twoje auto spala 10 l benzyny jadąc z prędkością 100 km/h. W takiej sytuacji płacisz 7 zł za przejechanie 10 km swoim ważącym 2 t autem. Jak myślisz, ile musiałbyś zapłacić silnemu mężczyźnie, żeby pchał Twoje auto przez 10 km? Przykładowo w Rzeszowie zapłacisz 70 zł za ok. 4 kilometrową przejażdżkę riską rowerową¹. Nie musisz aż tyle płacić za transport dzięki paliwom kopalnym. Dają Ci one możliwość szybkiego i komfortowego przemieszczania się praktycznie bez używania sił własnych mięśni. I to tylko jedna z wielu ich zalet. W dużej mierze to one pracują za nas.

1 <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1fOhyoipcEO0cAHjnUJ8dcdb9lLvGQzI&dl=50.035529088525976%2C22.00569828508311&z=15>



Od kilkudziesięciu lat w przekazie medialnym zakorzeniło się przekonanie, że odkryliśmy już prawie wszystkie złoża paliw kopalnych, jakie mogliśmy odkryć. To nie jest prawdą! Natomiast naszym głównym problemem jest to, że dostęp do złóż paliw kopalnych jest znacznie trudniejszy niż miało to miejsce na początku epoki przemysłowej. Dziś wydobywanie ropy naftowej wiąże się coraz częściej z budowaniem platform wiertniczych za setki milionów dolarów, wwiercaniem się kilka kilometrów pod dno oceanów i transportem surowca na setki tysięcy kilometrów.

Czym zatem są **paliwa kopalne**? To przekształcone w odpowiednich warunkach pod wpływem czynników biologicznych, biochemicznych, geologicznych i geochemicznych, szczątki martwych od tysięcy lat organizmów. To naturalne źródła węglowodorów, czyli najprostszycch związków organicznych zbudowanych wyłącznie z węgla i wodoru, takich jak: CH_4 (metan), C_2H_6 (etan), $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$ (dekan).

Gaz ziemny to mieszanina gazowych węglowodorów o niewielkiej liczbie atomów węgla w cząsteczce. Głównym składnikiem gazu ziemnego jest metan w ilości 39-99% w zależności od miejsca wydobywania. W skład tego paliwa kopalnego wchodzi także inne węglowodory, takie jak: etan, propan czy butan oraz inne gazy: azot, tlenek węgla (II)², tlenek węgla (IV), hel i siarkowodor. Często występuje on w złożach ropy naftowej, a także w kopalniach węgla kamiennego. W porównaniu z węglem i olejem opałowym (produkt pochodny ropy naftowej), podczas spalania gazu ziemnego jest emitowanych znacznie mniej gazów cieplarnianych. Gaz ziemny służy do produkcji prądu oraz ciepła do procesów przemysłowych i ogrzewania budynków. W Europie największym producentem gazu ziemnego jest Norwegia³ (dane z 2022 r.).

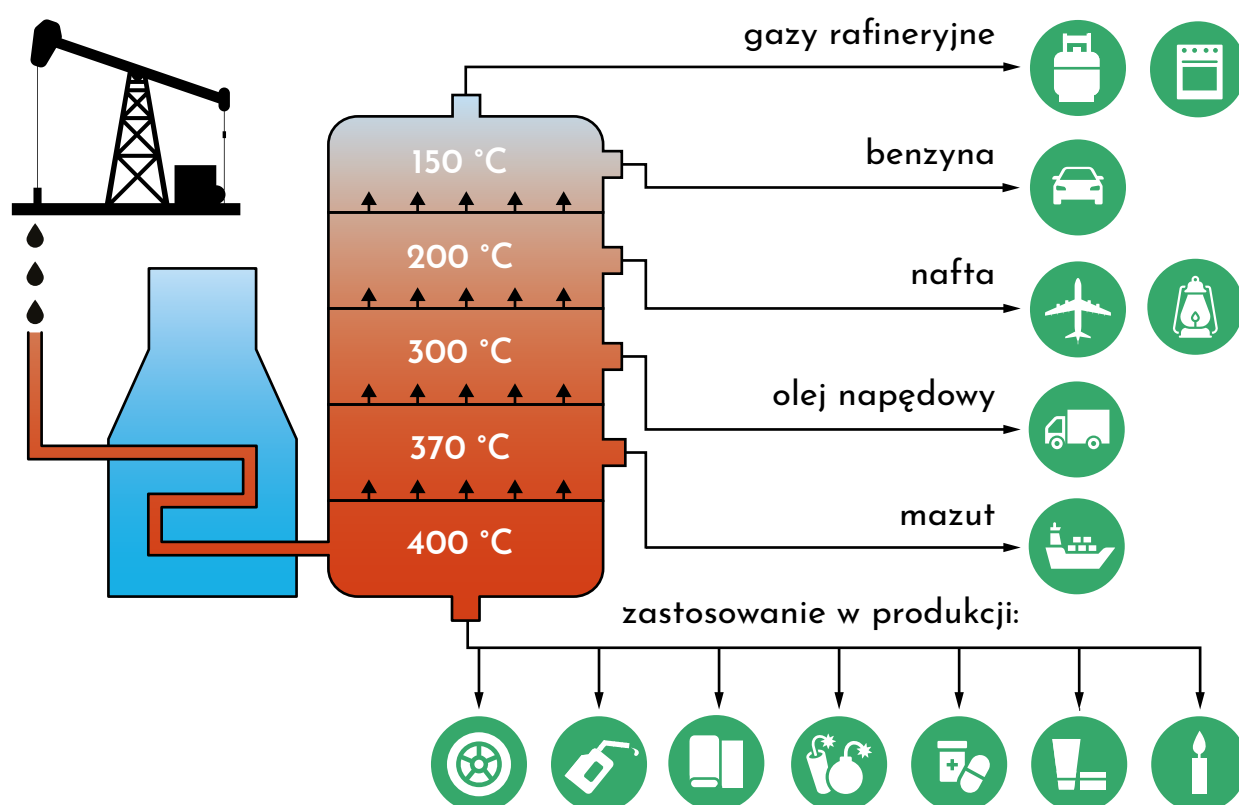
Ropa naftowa jest ciekłą, naturalną mieszaniną węglowodorów oraz niewielkich ilości związków organicznych, w skład których wchodzi tlen, azot i siarka. Jednym z procesów przetwarzania ropy naftowej jest jej destylacja, która polega na podgrzewaniu ropy w kolumnie destylacyjnej, gdzie

² Rzymskie cyfry oznaczają stopień utlenienia.

³ <https://ourworldindata.org/grapher/gas-production-by-country?tab=table>



różne składniki ropy wrą przy różnych temperaturach, co pozwala na ich rozdzielenie. W wyniku destylacji ropy naftowej otrzymujemy: gazy rafineryjne (1-4 atomów węgla w cząsteczce), benzyny (5-12 atomów węgla), nafty (9-16 atomów węgla), oleje napędowe (15-18 atomów węgla), mazut (powyżej 17 atomów węgla). Gazy rafineryjne znajdziemy, m.in. w butlach turystycznych i butlach do zasilania domowych kuchenek gazowych. Benzyna i olej napędowy to paliwa wykorzystywane w transporcie do napędzania bardzo różnych maszyn od rolniczych do sprzętu wojskowego. W transporcie lotniczym zastosowanie znalazła również nafta, a w morskim mazut. Inne zastosowania produktów destylacji ropy naftowej znajdziesz na **Rys. 1**. Ponadto, produkty destylacji ropy naftowej znajdują także zastosowanie poza sektorem energetycznym do produkcji: tworzyw sztucznych, kosmetyków, środków dezynfekcyjnych, świec, gumy, leków, barwników, farb, tkanin, materiałów wybuchowych i wielu innych.



Rys. 1 Produkty destylacji ropy naftowej.

Trzecim spośród wspomnianych nieodnawialnych źródeł energii są **węgle kopalne**. W przyrodzie występuje wiele odmian węgla kopalnego, różnią się one zawartością węgla pierwiastkowego, czyli: antracytu (94-97%), węgla kamiennego (75-92%), węgla brunatnego (63-78%), torfu (do 60%). Węgiel ma zastosowanie przede wszystkim w produkcji energii elektrycznej i ciepła, zarówno w gospodarstwach domowych, elektrociepłowniach węglowych oraz zakładach wykorzystujących ciepło do różnych procesów przemysłowych. Dwie najpowszechniejsze z odmian węgla kopalnego to węgiel kamienny oraz brunatny.

Węgiel kamienny to skała osadowa, jest surowcem energetycznym, który zalega na różnych głębokościach. Podczas spalania węgla kamiennego uwalniane jest CO₂, ale także tlenki siarki, tlenki azotu, ołowiu czy rtęci. Substancje te są szkodliwe nie tylko dla środowiska, ale również dla człowieka. Największym producentem węgla kamiennego w Unii Europejskiej jest Polska, będąc w stanie zaspokoić ponad połowę zapotrzebowania energetycznego naszego kraju.

Węgiel brunatny w odróżnieniu od węgla kamiennego wydobywany jest wyłącznie metodą odkrywkową, polegającą na sukcesywnym odkrywaniu kolejnych warstw surowca. O ile wydobywanie węgla kamiennego w Polsce sukcesywnie spada⁴, to w przypadku węgla brunatnego jest mniej więcej na stałym poziomie⁵. Spalanie węgla brunatnego powoduje większą emisję szkodliwych zanieczyszczeń niż spalanie węgla kamiennego. Oprócz emisji CO₂ dodatkowo mamy do czynienia z emisją dwutlenku siarki, tlenków azotu, tlenku węgla, pyłów oraz metali ciężkich takich jak kadm, ołów czy rtęć.

Poza bezpośrednim wykorzystaniem węgla (wytwarzaniem ciepła w wyniku spalania), często poddaje się go przetworzeniu w trakcie odpowiednich procesów technologicznych. Jednym z podstawowych sposobów przetwarzania węgla jest piroliza węgla zwana również koksowaniem.

⁴ <https://wysokienapiecie.pl/95937-wydobycie-węgla-w-polsce-w-2023/>

⁵ https://polskirynekwegla.pl/sites/default/files/StPu/202309/2023.07_podstawowe%20informacje%20o%20rynku%20i%20sektorze%20węgla%20brunatnego%20w%20Polsce.pdf



Piroliza to inaczej rozkład cząsteczek związku chemicznego w warunkach podwyższonej temperatury (np. 450-1000 °C dla węgla) bez obecności tlenu. Zazwyczaj powstają w ten sposób ze złożonych związków chemicznych, związki o mniejszej masie cząsteczkowej. Celem pirolizy węgla jest przetwarzanie surowca, czyli węgla do innych użytecznych nośników energii oraz półproduktów będących surowcami do dalszego wykorzystania.

W wyniku pirolizy węgla otrzymujemy następujące produkty: koks (70-80%), gaz koksowniczy (14-18%), woda pogazowa (4-7%), smoła węglowa (2-5%), a każdy z nich ma inne zastosowanie (**Rys. 2**).

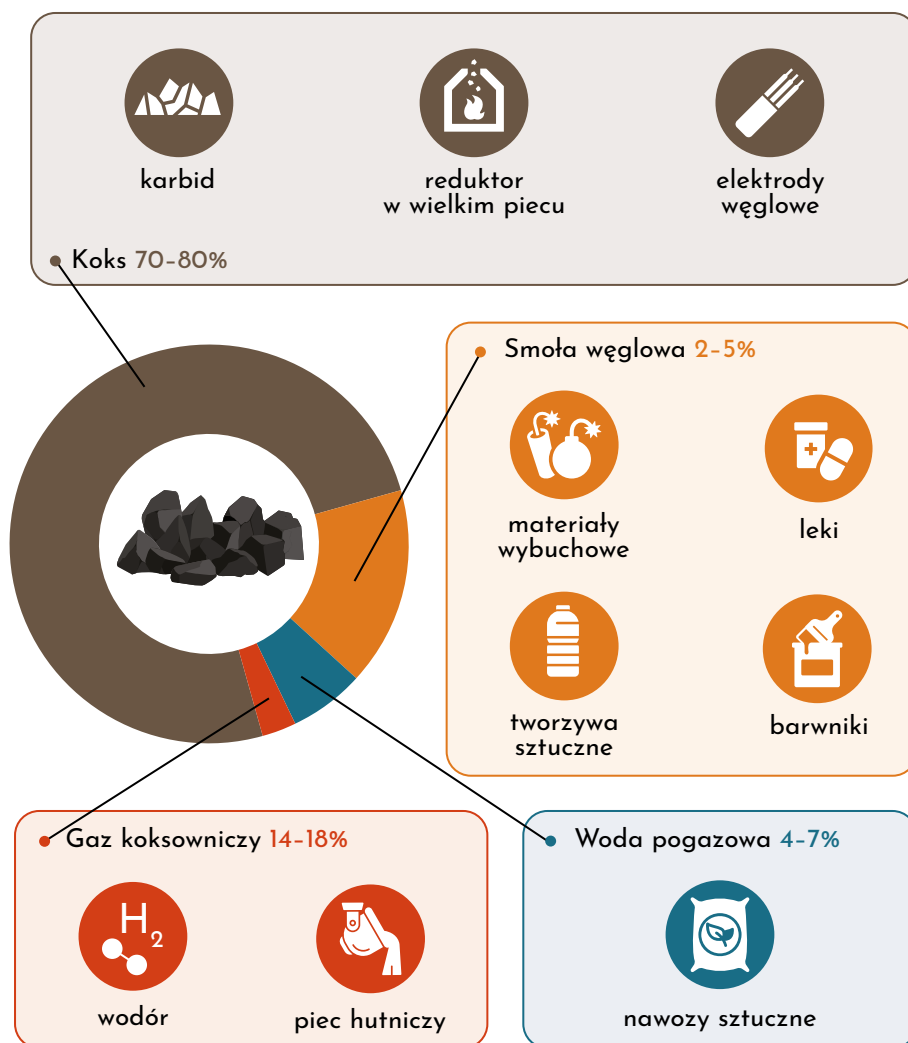
Koks stosuje się głównie w piecach hutniczych, gdzie odgrywa rolę paliwa, reduktora oraz czynnika zapewniającego gazoprzepuszczalność wsadu. Ma on swój udział w wytapianiu żelaza oraz metali nieżelaznych, takich jak cynk, ołów czy miedź.

Gaz koksowniczy po oczyszczeniu składa się z wodoru (45-60%), metanu (20-30%) i azotu (4-8%). Służy do opalania baterii koksowniczych (połączonych piecy koksowniczych) i pieców hutniczych oraz do syntez chemicznych.

Woda pogazowa stanowi mieszaninę zawierającą amoniak, sole amonowe, pirydynę, fenole i inne związki. Jest surowcem do otrzymywania amoniaku i siarczanu (VI) amonu, składników nawozów sztucznych.

Smoła węglowa to ciecz barwy czarnej o mazistej konsystencji. W skład smoły węglowej wchodzi głównie węglowodory aromatyczne, fenole, zasady pirydynowe. Stanowi ona surowiec do otrzymywania paku, lepiku oraz wielu związków organicznych, takich jak benzen, toluen, fenol, antracen, anilina. Smoła węglowa jest surowcem do produkcji, m.in.: barwników, leków, materiałów wybuchowych.





Rys. 2 Produkty pirolizy węgla i ich zastosowanie.

Ważne! Omówione powyżej nieodnawialne źródła energii poza wszystkimi swoimi zaletami posiadają jedną podstawową wadę. A mianowicie podczas ich spalania wytwarzają się gazy cieplarniane, głównie CO_2 .



ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII

1. Wiatr

Turbiny wiatrowe przekształcają energię kinetyczną wiatru w energię ruchu obrotowego. Wprawiona w ruch turbina napędza generator prądu elektrycznego.

Zalety:

- korzystanie z energii wiatrowej nie przyczynia się do wyczerpywania zasobów naturalnych;
- brak emisji gazów cieplarnianych;
- zdecentralizowana produkcja energii: ograniczenie strat związanych z przesyłem energii na dużych odległościach;
- stosunkowo niski nakład finansowy i krótki czas realizacji;
- ewentualna awaria jednego z układów generujących nie ma większego wpływu na pozostałe jednostki wytwórcze, a co się z tym wiąże wzrasta bezpieczeństwo energetyczne;
- znaczący potencjał wzrostu liczby farm wiatrowych ze względu na dostępność wiatru;
- wysoki potencjał tworzenia nowych miejsc pracy (produkcja, instalacja i utrzymanie turbin).

Wady:

- szkodliwość procesów produkcji, wydobycia surowców i odpadów (np. kompozytowe łopaty nie nadają się do recyklingu i stanowią niemal nierozkładający się odpad);
- zależność od pogody: w Polsce zimą wieje z większą częstotliwością, a latem wiatraki mogą długi czas stać nieruchome;
- umieranie ptaków i nietoperzy (w wyniku kolizji z turbinami);



- hałas i oszpecanie krajobrazu;
- konflikty farm wiatrowych z żegluga i rybołówstwem: obszar farm jest wyłączony z żeglugi i połowu.

2. Słońce

Energię słoneczną wykorzystujemy do produkcji prądu (panele fotowoltaiczne, w skrócie PV⁶) oraz do ogrzewania (kolektory słoneczne). Z uwagi na to, że rola PV w zasilanie sieci energetycznej Polski jest znacznie większa niż rola kolektorów w zasilanie sieci ciepłowniczej bliżej zostaną omówione wady i zalety tych pierwszych.

Panele fotowoltaiczne wykorzystują światło słoneczne oraz energię, jaką ze sobą niesie do wytwarzania energii elektrycznej. Obecna technologia fotowoltaiczna w głównej mierze opiera się na technologii ogniw krzemowych. Podstawą działania paneli fotowoltaicznych jest tzw. zewnętrzne zjawisko fotoelektryczne. Zjawisko to polega na wybiciu elektronów z tzw. powłok walencyjnych atomów, z których składa się materiał użyty do budowy paneli pod wpływem padającego na nie promieniowania elektromagnetycznego, czyli światła słonecznego. Następnie przez odpowiedni układ elektryczny elektrony są zbierane i zamieniane na prąd elektryczny o odpowiednim napięciu i natężeniu, które możemy wykorzystać w naszych domach.

Zalety:

- odnawialność: energia słoneczna jest niewyczerpywalnym źródłem energii;
- zeroemisyjność;
- niskie koszty utrzymania;
- mogą być umieszczane na terenach gęsto i słabo zaludnionych;
- stosunkowo łatwe w instalacji i mniejsze gabarytowo niż np. wiatraki;

⁶ PV jest skrótem od angielskiego słowa – photovoltaics – fotowoltaika.



- niezależność energetyczna;
- mogą służyć do zdecentralizowanej produkcji energii.

Wady:

- szkodliwość procesów produkcji, wydobycia surowców i odpadów (aż w 75% procentach zbudowane są ze szkła);
- stosunkowo wysoka cena zakupu i instalacji;
- okresowość działania: latem mamy znacznie więcej słonecznych dni niż zimą;
- panele należy czyścić, co wiąże się z pracami na wysokości;
- panele nie sprawdzają się w przypadku zacienionych miejsc czy dachów skierowanych na północ.

3. Biomasa

Rośliny przerabiają w procesie fotosyntezy energię słoneczną, CO_2 i wodę na tlen i glukozę (energię chemiczną w postaci cukrów). Spalając materiały organiczne pochodzenia roślinnego, tj. biomasę (biogaz, biopaliwa stałe, biopaliwa ciekłe), „wydobywamy” tę energię z roślin i możemy ją dalej wykorzystać.

Biopaliwa stałe to rodzaj biomasy, który jest w postaci stałej, takiej jak pellety, brykiety, trociny czy zrębki drewniane. To produkty przetworzone z biomasy, które zostały skondensowane i uformowane w celu ułatwienia składowania, transportu i spalania.

Biomasę można uznać za odnawialne źródło energii, ponieważ rośliny odrastają w stosunkowo krótkim czasie. Spalanie biomasy jest procesem korzystnym z punktu widzenia osiągnięcia celu zeroemisyjności tylko pod pewnymi warunkami. Podczas spalania biomasy uwalniane jest CO_2 do atmosfery, przy czym ilość CO_2 uwalniana podczas spalania biomasy jest równoważna ilości CO_2 , którą rośliny wchłonęły podczas wzrostu. W tym ujęciu emisje CO_2 ze spalania biomasy są neutralne dla środowiska.



Chcąc uprawiać rośliny na biomasę potrzebujemy gruntów, podobnie jak ma to miejsce w przypadku produkcji żywności, a mamy ich ograniczoną ilość. Uprawiamy rośliny kosztem naturalnych ekosystemów, które niszczymy.

Nie całą biomasę powinniśmy traktować jako bezemisyjną energię odnawialną. Należy pamiętać, że staramy się nie dopuścić do większego ocieplenia naszej planety, więc powinniśmy ograniczyć wycinę dojrzałych lasów. Wycięcie lasu i spalanie drewna wiąże się z uwolnieniem do atmosfery dużych ilości CO₂, które zostaną ponownie związane przez nowo posadzone drzewa na terenach wylesionych dopiero po upływie dziesiątek, a nawet setek lat.

Znacznie lepszym sposobem pozyskiwania energii z biomasy są biogazownie. To sposób na wykorzystanie odpadów, takich jak odchody z ferm kurzych, świńskich czy bydłych, resztki żywności, odpady organiczne z oczyszczalni ścieków, trociny i inne z zakładów przetwórstwa drewna, celulozowo-papierniczych i meblarskich, można też wykorzystać uprawy energetyczne⁷. W biogazowniach odpady organiczne poddaje się fermentacji wytwarzając w ten sposób biogaz, z czego 60% to biometan (reszta to CO₂, para wodna, siarka, siarkowodór, chlor). Metan i biometan to ten sam związek chemiczny, a bio oznacza, że gaz został wyprodukowany z biomasy. Gaz ten możemy spalać, tak jak to robimy z gazem ziemnym. Pozostałości po spalaniu można wykorzystać jako nawozy.

Zalety biomasy:

- stanowi odnawialne źródło energii;
- odznacza się ograniczoną emisją gazów cieplarnianych (w szczególności metanu);
- może być wykorzystywana do utylizacji odpadów;
- stosowana jest do produkcji nawozów.

⁷ Uprawy energetyczne – uprawy roślin w celu pozyskania biomasy przeznaczonej do produkcji energii cieplnej, elektrycznej oraz paliwa gazowego lub ciekłego.



- wysokie koszty inwestycyjne;
- złożoność techniczna procesu produkcji biogazu wymaga specjalistycznej wiedzy;
- wydajność biogazowni zależy od rodzaju surowców.

Elektrownie wykorzystują energię potencjalną spadającej wody, aby wprawić w ruch turbinę połączoną z generatorem prądu. Polska w większości jest krajem nizinnym i nie ma warunków do produkcji energii tą metodą. Moglibyśmy budować tamy na rzekach i sztucznie generować spadek wody, ale w ten sposób bardzo mocno ingerowalibyśmy w ekosystemy rzeczne. Są pewne pomysły, takie jak stworzenie elektrowni szczytowo-pompowych na sztucznie stworzonych zbiornikach wodnych na terenach pokopalnianych, ale tego typu rozwiązaniom poświęca się stosunkowo niewiele uwagi⁸.

W Polsce zasoby energii geotermalnej zgromadzone są w wodach termalnych na głębokościach od 1000 do 3000 m. Temperatura wód termalnych w naszym kraju mieści się w zakresie 20-100 °C. W Polsce mamy sześć ciepłowni geotermalnych, ale każda z nich wykorzystuje również dodatkowe źródło ciepła (zazwyczaj gazu) do dodatkowego podgrzania tych wód.

Korzystanie z wód geotermalnych jest czasochłonne i kosztowne w związku, m.in. z wysoką mineralizacją wód, która jest często spotykana i podnosi ona koszt utrzymania instalacji. Opłacalność geotermii może ulec zmianie, jeśli np. zaczniemy wykorzystywać wody reliktowe⁹ nie tylko w celach cie-

9 Wody reliktowe – wody podziemne powstałe dawno, odizolowane od późniejszych czynników zewnętrznych. Występują nieraz na dużych głębokościach. Pozostałości wód z minionych okresów geologicznych. Zwykle są to wody mineralne lub wysłodzone wody morskie.

płowniczych, ale również w celu pozyskiwania rozpuszczonych w nich związków litu, manganu, cynku itd.

6. Ciepło gruntu i powietrza — pompy ciepła

Pompy ciepła to urządzenia, które umożliwiają ogrzewanie pomieszczeń lub ich chłodzenia czy też ogrzewania wody. Urządzenia te zabierają ciepło z miejsca, gdzie jest zimno (na zewnątrz domu) i przenoszą je do miejsca, gdzie jest ciepło (wnętrze domu). Wykorzystują do tego czynnik chłodniczy, który jest sprężany lub rozprężany w celu wymuszenia jego przemiany fazowej gaz/ciecz. Pompy ciepła są bardzo podobne w swoim działaniu do lodówki. Pompy ciepła charakteryzuje sprawnością rzędu 300-400%. Oznacza, to, że potrzebuje ona 1 kWh prądu, aby wpompować do domu 3 do 4 kWh ciepła.

Zalety:

- duża efektywność energetyczna;
- stosunkowo niskie koszty eksploatacji;
- niska emisja gazów cieplarnianych;
- można je wykorzystywać w różnych warunkach środowiskowych;
- możliwość wykorzystania do chłodzenia pomieszczeń.

Wady:

- stosunkowo wysokie koszty instalacji;
- zależność od warunków zewnętrznych;
- wymagane odpowiednie miejsce na instalację.



Podział źródeł energii przedstawiono na **Rys. 3**. Z diagramu tego wynika, że istnieje źródło energii, które nie należy do odnawialnych ani kopalnych¹⁰, ale podobnie jak OZE jest źródłem niskoemisyjnym. Źródłem tym jest energia jądrowa (potocznie: atom). Z uwagi na wyjątkowość tego źródła energii poświęciliśmy mu cały kolejny rozdział. Wśród odnawialnych źródeł energii wyróżniliśmy biomasę oraz wodę, ponieważ ich odnawialność, a także przynależność do zrównoważonych źródeł energii, zależy od spełnienia pewnych kryteriów. Zrównoważone źródła energii to takie, które zaspokajają potrzeby obecnego pokolenia, bez zmniejszania zasobów przyszłym pokoleniom.

Podstawy zrównoważonej biomasy opierają się na poniższych założeniach:

- węgiel uwalniany podczas produkcji energii jest odzyskiwany przez rośliny w celu stworzenia surowca (nowej biomasy);
- sama biomasa nie pochodzi z upraw, które zagarniają grunty przeznaczone pod uprawy żywności;
- wprowadzanie monokultur roślin energetycznych nie zmniejsza bioróżnorodności;
- powstałe podczas spalania pyły nie stanowią zagrożenia dla środowiska;
- podczas spalania nie dochodzi do emisji tlenków azotu, dioksyn, furanów (charakterystyczne dla spalania biomasy zanieczyszczonej pestycydami).

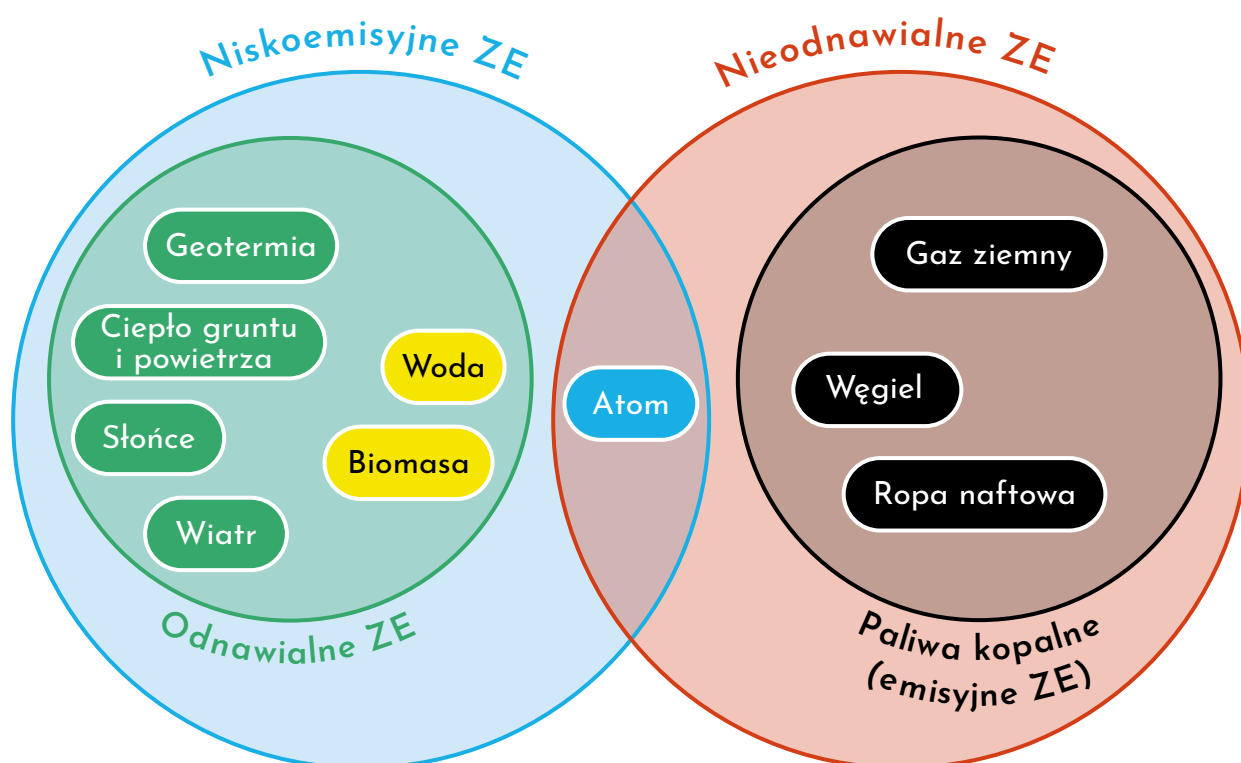
Energię wodną możemy zaliczyć do zrównoważonych źródeł energii jeżeli:

- nie wprowadza ona nieodwracalnych i niekorzystnych zmian w ekosystemach (np. zamulenia rzek, uniemożliwienia swobodnej wędrówki organizmów wodnych);
- nie przyczynia się do wylesiania;
- nie zmienia stosunków wodnych (nie wywołuje suszy na pobliskich terenach).

¹⁰ Jeżeli chodzi o uran, to nie jest on paliwem kopalnym, ponieważ z definicji oznacza ono paliwo pochodzenia organicznego, uran natomiast jest kopaliną, czyli czymś co się wydobywa (tak jak np. rudy metali). Angielski termin „fossil fuel” oznaczający paliwa kopalne, zawiera w sobie słowo „fossil”, które można także przetłumaczyć jako „skamieniałość, skamielina” i jest to bardziej adekwatne określenie.



Schemat poniżej pomoże Ci usystematyzować Twoją wiedzę na temat rodzajów podstawowych źródeł energii, z których na co dzień korzystamy.



Rys. 3 Podział źródeł energii.

Po przeczytaniu tego rozdziału:

- ✓ Potrafisz podzielić źródła energii na: niskoemisyjne, paliwa kopalne, odnawialne, nieodnawialne i zrównoważone.
- ✓ Znasz najważniejsze zalety i wady poszczególnych źródeł energii.
- ✓ Potrafisz podać przykład zastosowania węgla kamiennego, ropy naftowej i gazu ziemnego.



Energetyka jądrowa

dr inż. Sylwia Zięba



ROZDZIAŁ 10

Mając na uwadze fakt, że i w Polsce planowana jest budowa elektrowni jądrowych, to cały rozdział 10 poświęciliśmy właśnie temu zagadnieniu – szczególnemu źródłu energii niskoemisyjnej, jakim jest energia jądrowa.

Odkąd zaczęła rosnąć wiedza i świadomość na temat globalnego ocieplenia i jego konsekwencji dla natury, ludzie starają się wprowadzać zmiany w swojej globalnej działalności. Zastąpienie produkcji energii elektrycznej ze spalania węgla produkcją pochodzącą z energii jądrowej jest jedną z możliwości ograniczenia emisji zanieczyszczeń, jak np. CO₂¹. Ponadto wykorzystanie energii jądrowej do produkcji energii elektrycznej może być jedną z niskoemisyjnych metod, która pozwoliłaby na utrzymanie stabilnej pracy systemu energetycznego w danym kraju. O zaletach i wadach energetyki jądrowej opowiemy w dalszej części tego rozdziału.

Energetyka jądrowa polega na wykorzystaniu energii pochodzącej z rozszczepienia jądra ciężkiego pierwiastka, jak np. uranu 235 (U-235). Poza działalnością samej elektrowni obejmuje także takie zagadnienia jak: wydobywanie uranu, otrzymywanie paliwa jądrowego czy składowanie odpadów promieniotwórczych. Energetyka jądrowa posiada również inne zastosowania, m.in. wykorzystujemy ją do produkcji radiofarmaceutyków stosowanych w leczeniu nowotworów lub jako źródło napędów statków (np. atomowe okręty podwodne).

¹ Praca zbiorowa, *Klimatyczne ABC. Interdyscyplinarne podstawy współczesnej wiedzy o zmianie klimatu*. Warszawa 2021, s. 236-254.



Historię energetyki jądrowej możemy rozpocząć od zbudowania pierwszego doświadczalnego reaktora jądrowego w 1942 r. na Uniwersytecie w Chicagu. Reaktor ten został wykorzystany przez prof. Enrico Fermiego do przeprowadzenia pierwszej kontrolowanej reakcji łańcuchowej². Pierwszy reaktor doświadczalny, który pozwolił na produkcję energii elektrycznej, zbudowano w 1951 r. w Idaho (USA). Wykorzystywany on był głównie do prowadzenia badań mających na celu określenie możliwości powielania paliwa jądrowego. Natomiast pierwszą elektrownię jądrową zbudowano w Obińsku (w Rosji, ok. 100 km od Moskwy) i rozpoczęła ona swoją działalność w 1954 r.

Aby zrozumieć, czym jest energia jądrowa, przypomnijmy kilka zagadnień fizycznych. Podstawową jednostką budulcową materii jest **atom**. Atom złożony jest z **jądra atomowego**, w skład którego wchodzi **protony i neutrony**. Wokół jądra krążą **elektrony**. Działem fizyki, który zajmuje się zagadnieniami jądra atomowego, jest fizyka atomowa. W celu uzyskania energii jądrowej rozszczepia się ciężkie jądra atomowe.

Pierwiastki dzielimy na te o lekkich oraz ciężkich jądrach atomowych. Pierwiastki, składające się z liczby protonów większej niż 83 nazywamy ciężkimi, a te o mniejszej liczbie protonów – lekkimi³. Reakcję rozszczepienia jądra atomowego można obserwować dla jąder ciężkich. Na skutek zderzenia z neutronem ciężkie jądro może podzielić się na dwa mniejsze. Zjawisko to zostało odkryte przez Otto Hahna oraz Fritza Strasmanna w 1938 r. Wiele jąder można rozszczepić neutronami o wysokiej energii, ale z naturalnie występujących tylko U-235 można rozszczepić także neutronami o niskiej energii, a zatem można go praktycznie wykorzystać⁴.

Jeśli chcemy uzyskać dużą ilość energii, należy doprowadzić do powstania **reakcji łańcuchowej**. W takim przypadku jądra, np. U-235, bombarduje się neutronami, w wyniku czego powstają kolejne neutrony mogące dopro-

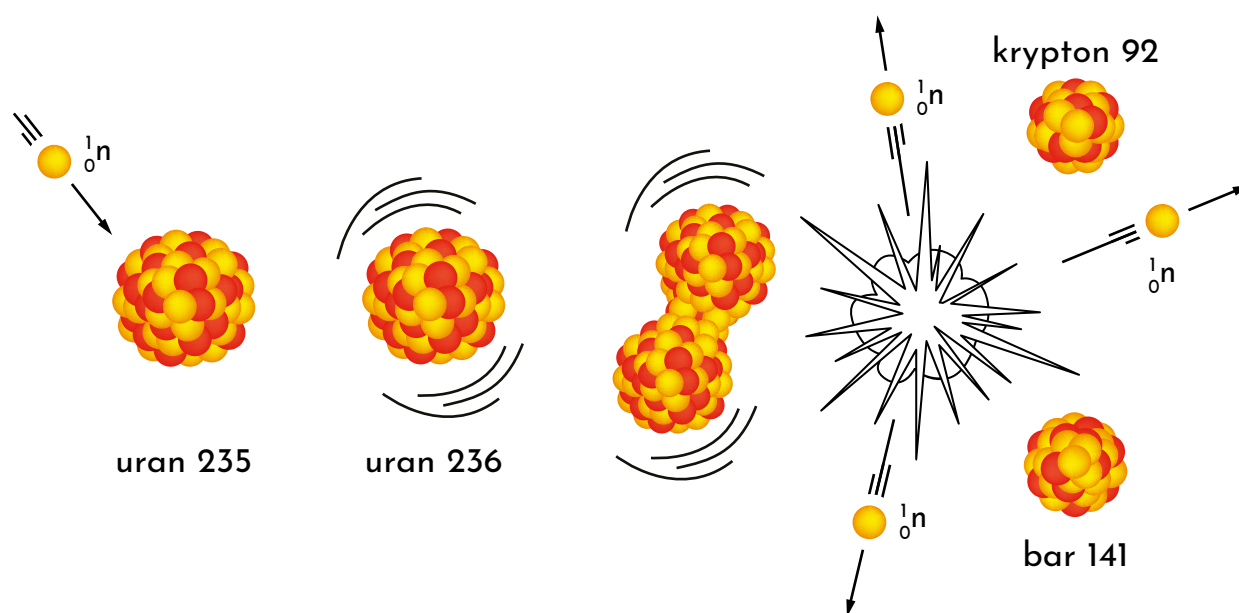
² Józwik R., *Energia jądrowa i jej pokojowe wykorzystanie*. PTU 142, s. 103-119 (2017).

³ Kubowski J., *Elektrownie jądrowe*, wyd. II zmienione. Warszawa 2017.

⁴ Meitner L., Frisch O. R., *Disintegration of Uranium by Neutrons: a New Type of Nuclear Reaction*. *Nature* 143, s. 239-240 (1939).



wadzić do rozszczepienia kolejnych jąder. **Reakcja ta może przebiegać w sposób kontrolowany lub niekontrolowany.** W przypadku reakcji niekontrolowanej dochodzi ostatecznie do wybuchu, a reakcja taka jest podstawą działania bomby atomowej. W przypadku, kiedy kontrolujemy reakcję łańcuchową, uwolnioną energię możemy wykorzystać, np. do produkcji energii elektrycznej. Reakcje rozszczepienia jąder U-235 ($^{235}_{92}\text{U}$) przebiegają w następujący sposób:



Rys. 1 Schemat reakcji rozszczepienia jądra uranu 235.

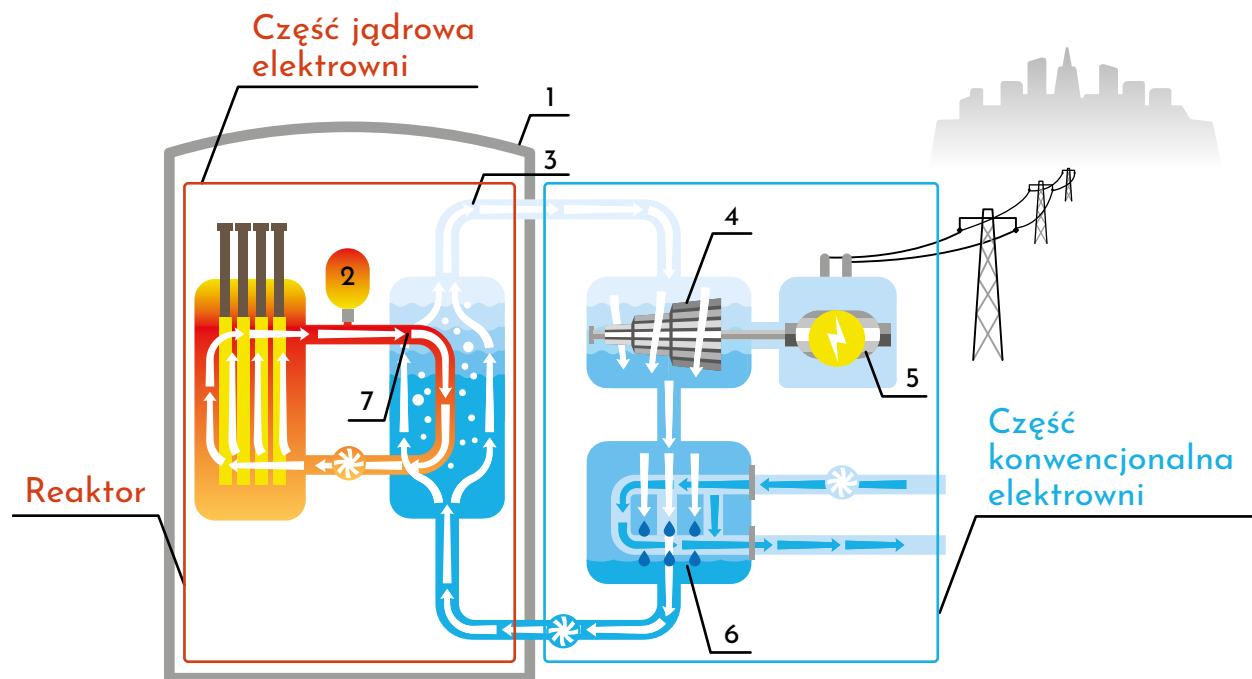
Reakcji rozszczepienia towarzyszy powstanie energii o wartości 200 MeV (megaelektronowoltów) w kilku formach^{5,6}. Należy zwrócić uwagę, że jest to energia pochodząca od rozszczepienia tylko jednego jądra. W sytuacji gdyby doszło do rozszczepienia jąder w 1 g uranu, wydzielona energia byłaby rzędu 82 MJ (megadżuli). Jest to energia, którą otrzymalibyśmy po spaleniu ok. 2500 kg węgla⁷. Ponadto w reakcji rozszczepienia emitowany jest więcej niż

⁵ Chandrasekhar B. S., *Dlaczego rzeczy są takie jakie są?* Warszawa 1999.

⁶ Józwick R., *Energia jądrowa i jej pokojowe wykorzystanie*. PTU 142, s. 103-119 (2017).

⁷ *Ibidem*.

jeden neutron. Część z wyemitowanych neutronów powoduje rozszczepienie kolejnych ciężkich jąder, co podtrzymuje reakcję łańcuchową. Przebieg reakcji łańcuchowej kontroluje się w reaktorach jądrowych (**Rys. 2**). Reaktor jądrowy jest „sercem” elektrowni jądrowej. To w nim zachodzi reakcja łańcuchowa, która pozwala na produkcję energii elektrycznej.



Rys. 2 Schemat elektrowni jądrowej reaktora typu PWR:

- 1 — obudowa bezpieczeństwa, chroniąca przed wydostaniem się pierwiastków promieniotwórczych do środowiska;
- 2 — stabilizator ciśnienia, którego zadaniem jest kontrolowanie ciśnienia w układzie;
- 3 — para wodna pod ciśnieniem,
- 4 — turbina parowa, wykorzystująca energię pary wodnej do wytworzenia energii mechanicznej;
- 5 — generator, którego zadaniem jest przekształcanie energii mechanicznej w energię elektryczną;
- 6 — skraplacz, ma za zadanie skraplać parę po przejściu przez turbinę do postaci cieczy;
- 7 — wytwornica pary.

Najczęściej wykorzystywane są dwa typy reaktorów jądrowych: wodne ciśnieniowe PWR (ang. Pressurized Water Reactor, pol. reaktor wodny ciśnieniowy) oraz wodne wrzące BWR (ang. Boiling Water Reactor, pol. reaktor wodny wrzący)⁸. W elektrowni z reaktorem typu PWR znajdują się oddzielne obiegi wody: pierwotny oraz wtórny. W konsekwencji para, która znajduje się w obiegu wtórnym nie ma kontaktu z paliwem jądrowym. W obiegu pierwotnym woda podgrzewana jest do temperatury nieco ponad 300 °C, ale znajduje się pod wysokim ciśnieniem, więc jest ciągle w stanie ciekłym. Ciepło z obiegu pierwotnego wykorzystywane jest do wytworzenia pary w obiegu wtórnym. Para w obiegu wtórnym wprawia w ruch łopatki turbiny, która połączona jest z generatorem prądu elektrycznego. W elektrowni z reaktorem typu BWR wykorzystywany jest jeden obieg wody. Woda ogrzewana jest bezpośrednio poprzez odbiór ciepła z prętów paliwowych (pręty zawierające uran), ale ponieważ w reaktorze panuje niższe ciśnienie dochodzi do wrzenia wody i wytworzenia pary. Jednak w konsekwencji woda krążąca w układzie może zostać skażona pierwiastkami promieniotwórczymi⁹. Wśród reaktorów PWR oraz BWR możemy wymienić takie reaktory, jak np. ABWR (ang. Advanced Boiling Water Reactor, pol. udoskonalony wodny reaktor wrzący), BWRX-300 (X od dziesiątego modelu w linii rozwojowej), EPR (ang. European Pressurized Reactor, pol. Europejski Reaktor Ciśnieniowy), AP1000 (ang. Advanced Passive, pol. Ulepszony pasywny), APR1400 (ang. Advanced Power Reactor, pol. ulepszony reaktor energetyczny) czy rosyjską serię reaktorów WWER (rosyjski odpowiednik typu PWR, pol. wodno-wodny reaktor energetyczny)¹⁰.

⁸ Józwik R., *Energia jądrowa i jej pokojowe wykorzystanie*. PTU 142, s. 103-119 (2017).

⁹ *Ibidem*.

¹⁰ Kubowski J., *Elektrownie jądrowe*, wyd. II zmienione. Warszawa 2017.



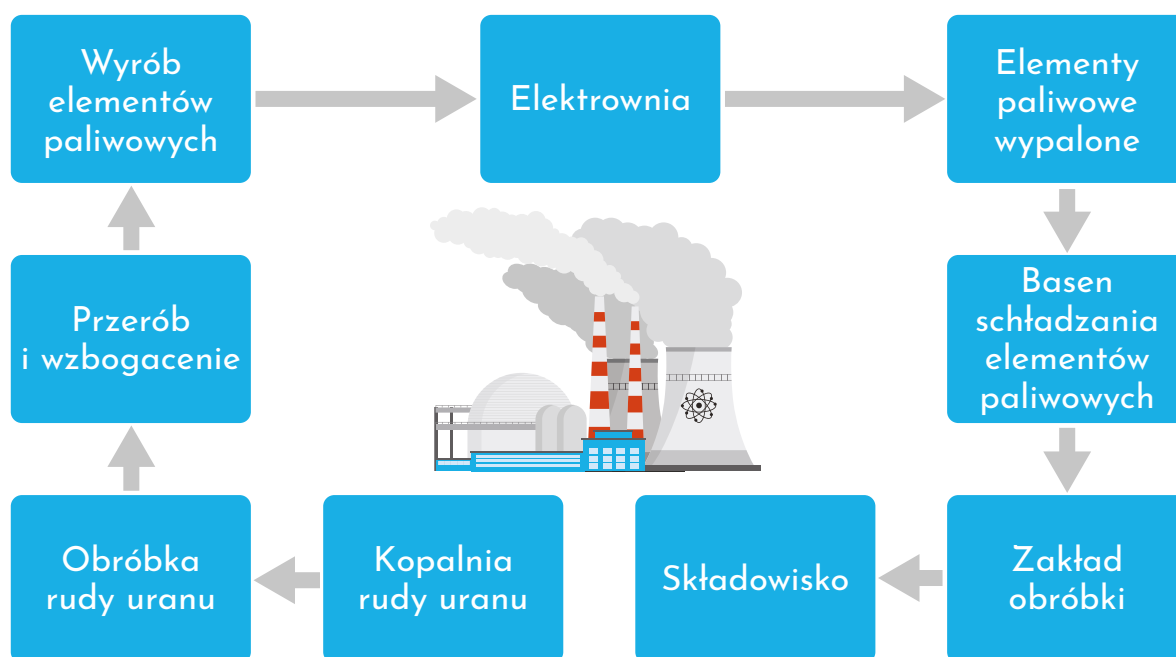
Nieco upraszczając, działanie jakiejkolwiek elektrowni sprowadza się do przetwarzania danego rodzaju energii na energię elektryczną. W przypadku reaktora jądrowego (elektrowni atomowej) energia wewnętrzna jąder atomowych jest przetwarzana na energię cieplną (ogrzewana jest woda), a ta w elektryczną (para wodna napędza turbinę produkującą energię elektryczną). W wyniku działalności elektrowni jądrowej nie są wytwarzane gazy cieplarniane, a jedynie niewielkie ilości odpadów promieniotwórczych, które składowane są na odpowiednio przygotowanym do tego celu składowisku.

Uran jest pierwiastkiem dość powszechnie występującym w skorupie ziemskiej. Występuje przykładowo o 40% częściej niż srebro oraz znajduje się go o ok. 500 razy więcej w porównaniu do złota. Z tego powodu istnieje szereg państw, które posiadają technologię umożliwiającą produkcję elementów paliwowych. Wśród nich znajdują się takie mocarstwa atomowe jak: USA, Rosja, Wielka Brytania czy również państwa nie posiadające arsenału atomowego, m.in.: Hiszpania, Japonia, Kanada, Rumunia, Szwecja. Aby możliwa była produkcja paliwa wymagane jest posiadanie złóż uranu, działających kopalni, technologii wzbogacania uranu oraz zakładów produkcji elementów paliwowych¹¹. Ponadto elementy paliwowe muszą spełniać najwyższe standardy bezpieczeństwa, aby mogły zostać wykorzystane do pracy w elektrowni jądrowej. Cykl paliwa uranowego przedstawiono na **Rys. 3**.

Elementy paliwowe, które zostały wykorzystane do produkcji ciepła w elektrowni jądrowej, stają się wypalone. W takim momencie trafiają one do basenu schładzania odpadów. W otwartym cyklu paliwowym składa się je w odpowiednio przygotowanym do tego celu miejscu. W zamkniętym uranowym cyklu paliwowym schłodzone elementy paliwowe trafiają do zakładu przerobu i są z nich przygotowywane elementy paliwowe do powtórnego wykorzystania w elektrowni jądrowej.

¹¹ Kubowski J., *Elektrownie jądrowe*, wyd. II zmienione. Warszawa 2017.





Rys. 3 Schemat otwartego uranowego cyklu paliwowego.

Zaletą przejścia z energetyki węglowej na energetykę jądrową jest ich podobne działanie. Różnica wynika jedynie ze sposobu podgrzewania wody. W elektrowni węglowej w tym celu spalamy węgiel, a w jądrowej przeprowadzamy reakcję rozszczepienia jąder atomowych¹². Z tego względu wprowadzenie energetyki jądrowej nie wymaga znaczącej rozbudowy infrastruktury energetycznej. Ponadto wydajność elektrowni jądrowych nie jest zależna od warunków naturalnych w przeciwieństwie do np. elektrowni fotowoltaicznych. Obecnie wykorzystywana infrastruktura do przekazywania energii elektrycznej od elektrowni węglowej do odbiorcy może zostać także wykorzystywana w przypadku elektrowni jądrowej.

Jednym z kluczowych wyzwań we wprowadzaniu energetyki jądrowej stanowi brak akceptacji społecznej dla tego typu źródła energii. Wynika to głównie z trzech katastrof, do których doszło w ostatnich 50 latach: w 1979 r. w Three Mile Island (USA), w 1986 r. w Czarnobylu (ZSRR) oraz

¹² Kubowski J., *Elektrownie jądrowe*, wyd. II zmienione. Warszawa 2017.

w 2011 r. w Fukushima (Japonia). Należy jednak podkreślić, że z biegiem lat technologia budowy reaktora jądrowego oraz stosowanych zabezpieczeń nieustannie się rozwija i ulepsza¹³. Pomimo wspomnianych katastrof, wykorzystywanych w mediach jako argument przeciwko elektrowniom jądrowym, to jednak są one bezpiecznym sposobem pozyskiwania energii w stosunku do innych technologii. Nowoczesne elektrownie są dużo bardziej bezpieczne i odporne na działania zewnętrzne. Nie należy zatem całkowicie negować takiego rozwiązania, a trzeba rozważyć także pozytywne strony tego typu przedsięwzięcia.

Energetyka jądrowa, jak każda inna metoda służąca do wytwarzania energii elektrycznej, ma swoje zalety i wady. Do jej zalet można zaliczyć stabilność w produkcji i dostaw energii elektrycznej. Ilość wyprodukowanej energii w porównaniu do energii słonecznej czy wiatru, zależnych od warunków atmosferycznych, pory roku czy dnia. Elektrownia jądrowa zawsze wyprodukuje podobną ilość energii każdego dnia. Związane jest to m.in. z faktem, że po jej uruchomieniu koszt utrzymania pozostaje stały, niezależnie od ilości energii, która zostanie wyprodukowana. Duże znaczenie ma to, że koszt produkcji energii jest niezależny od chwilowych cen surowców energetycznych na rynkach globalnych, które mogą się dynamicznie zmieniać. Ponadto istnieje możliwość wykorzystania obecnej infrastruktury do przekazywania energii od elektrowni do odbiorcy. Elektrownia jądrowa zasilana jest małą ilością paliwa co sprawia, że wytwarza niewielką ilość odpadów. Jej działanie prowadzi także do emitowania niewielkiej ilości zanieczyszczeń. Technologia ta jest sprawdzona i obecnie znacznie bezpieczniejsza. Mówiąc o zaletach należy również podkreślić trwałość instalacji. Raz wybudowana elektrownia może działać nieprzerwanie przez 50-80 lat.

Do wad energetyki jądrowej możemy zaliczyć wysoki koszt wybudowania samej elektrowni. Wynika on z niewielkiej ilości budowanych reaktorów na świecie, co sprawia że budowa każdego z nich jest oddzielnym projektem.

¹³ Kubowski J., *Elektrownie jądrowe*, wyd. II zmienione. Warszawa 2017.



Wpływa to na brak doświadczenia wykonawców we wprowadzaniu technologii jądrowych, co skutkuje dużą ilością poprawek i przedłużającym się czasie budowy. Pojawiają się także problemy konstrukcyjne, kompetencyjne oraz techniczne, które prowadzą do opóźniania zakończenia prac nad elektrownią oraz zwiększania się kosztów powstającej instalacji. Pomimo niewielkiego prawdopodobieństwa katastrofy elektrowni jądrowej, każda z nich jednak może prowadzić do poważnych następstw, m.in.: niszczenia środowiska oraz ogromnych kosztów (np. koszt katastrofy w Fukushima oszacowano na 100-500 mld dolarów). Energetyka jądrowa, ze względu na zbyt długi czas jej wprowadzania, nie jest w stanie zastąpić elektrowni węglowych, które mają wstępnie zostać zamknięte do 2030 r. Ponadto wykorzystanie atomu w energetyce jądrowej prowadzi do generowania odpadów radioaktywnych, które należy przechowywać w specjalnie do tego celu przygotowanych miejscach.

Podsumowując, energetyka jądrowa stanowi jedną z niskoemisyjnych metod wytwarzania energii elektrycznej, pozwalającej na utrzymanie stabilnej pracy polskiego systemu energetycznego. W wyniku działalności elektrowni jądrowej nie są wytwarzane gazy cieplarniane, a jedynie niewielkie ilości odpadów promieniotwórczych, magazynowanych na odpowiednio przygotowanym do tego celu składowisku. Należy także podkreślić, że nowoczesne elektrownie jądrowe są dużo bardziej bezpieczne i odporne na działania zewnętrzne w porównaniu do wcześniej wybudowanych elektrowni jądrowych. Dlatego też i w Polsce wspierane są działania promujące energetykę jądrową, której wprowadzenie do krajowego sektora energetycznego jest niezbędne, aby możliwa była jego zielona transformacja i uniezależnienie się od zewnętrznych dostawców.



Po przeczytaniu tego rozdziału:

- ✓ Znasz budowę atomu oraz potrafisz podać przykłady pierwiastków o ciężkich jądrach atomowych.
- ✓ Wiesz już czym jest reakcja łańcuchowa.
- ✓ Znasz podstawowe elementy budowy elektrowni jądrowej i potrafisz powiedzieć, jakie jest ich zadanie.
- ✓ Potrafisz powiedzieć, jakimi zagadnieniami zajmuje się energetyka jądrowa oraz wymienić jej wady i zalety.





11

Wodór

dr inż. Adam Ostrowski



ROZDZIAŁ 11

Z rozdziału 9 już wiesz, że energetyka wiatrowa i słoneczna są zależne od warunków pogodowych. W tym rozdziale natomiast zdobędziesz wiedzę, w jaki sposób możemy zmagazynować nadwyżki wyprodukowanego prądu.

W tym rozdziale przedstawię podstawowe informacje dotyczące wodoru i powody, dla których uważany jest on za paliwo przyszłości. Dowiesz się, jak możemy wykorzystywać ten pierwiastek jako efektywne źródło energii, a także jak go pozyskiwać, produkować i magazynować. Przyjrzymy się konkretnym wyzwaniom towarzyszącym szerokiemu wdrożeniu wodoru jako paliwa.

Wodór — najlżejszy i najpowszechniejszy pierwiastek Wszechświata

Wodór to pierwszy pierwiastek w układzie okresowym, a jego nazwa pochodzi od greckiego słowa „hudōr”, co oznacza wodę. Woda (H_2O) składa się z dwóch atomów wodoru (H) i jednego atomu tlenu (O) i jest niezbędna do życia na Ziemi. Aż 75% całej materii we wszechświecie to wodór, czyli trzy czwarte kosmosu wypełnia właśnie ten lekki pierwiastek. Jak możemy znaleźć wodór w przestrzeni kosmicznej? Wystarczy spojrzeć w górę na nocne niebo – gwiazdy, galaktyki, wszystko to jest wypełnione tym gazem. Wodór w tzw. formie cząsteczkowej (H_2) składa się z połączonych ze sobą dwóch pojedynczych atomów wodoru, a każdy atom składa się z jednego protonu i jednego elektronu. Pierwiastek ten występuje w różnych związkach chemicznych, formach i miejscach na Ziemi. Jest obecny w znacznym stężeniu

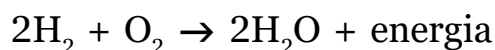


w gazach ziemnych, takich jak metan. Można go znaleźć również w atmosferze ziemskiej, chociaż stanowi tam zaledwie ok. 0,000055 objętości. Wodór w temperaturze pokojowej i pod normalnym ciśnieniem atmosferycznym istnieje w postaci gazowej. Ma on bardzo niską temperaturę wrzenia wynoszącą ok. $-252,76\text{ }^{\circ}\text{C}$, co sprawia, że po skropleniu jest jednym z najzimniejszych ciekłych gazów na Ziemi. Wodór jest bezwonny i bezbarwny, czyli nie posiada wyraźnego zapachu ani koloru. To czyni go trudnym do wykrycia przez ludzkie zmysły.

Wodór jako nośnik energii

Głównym atutem wodoru, jako nośnika energii jest to, że jego spalanie nie generuje dwutlenku węgla, dzięki czemu uważamy go za przyjazny dla środowiska. Spalając wodór w obecności tlenu, np. w powietrzu, otrzymuje się wodę i uwalniana jest ogromna ilość energii w postaci ciepła i światła.

Poniższe równanie przedstawia reakcję spalania dwóch cząsteczek wodoru w obecności cząsteczki tlenu:



A ile energii faktycznie można uzyskać ze spalania wodoru i jak te wartości można porównać z innymi źródłami energii? Zarówno na początku historii eksploracji kosmosu jak i obecnie, rakiety i wahadłowce często korzystają ze specjalnego paliwa raketowego, które stanowi mieszanekę ciekłego wodoru i tlenu. Przykładowo podczas misji Apollo 11, kiedy to ludzie po raz pierwszy stanęli na Księżycu, użyto rakiety Saturn V zasilanej właśnie tego typu paliwem. Ten przykład doskonale ilustruje, jak ogromna ilość szybko dostępnej energii jest wydzielana podczas spalania wodoru.

Kilogram wodoru może dostarczyć ok. 33,3 kWh (kilowatogodzin) energii, co czyni go jednym z najbardziej efektywnych nośników energii pod względem ilości energii na masę. Dla porównania węgiel kamienny dostarcza ok. 24 kWh/kg, a benzyna około 12 kWh/kg. Kilowatogodzina to jednostka miary energii elektrycznej stosowana do określenia ilości energii



zużywanej przez urządzenia elektryczne lub dostarczanej przez źródła energii elektrycznej. Przeciętny telewizor o wielkości ekranu 50 cali i poborze mocy 100 W potrzebuje około 0,1 kWh energii elektrycznej, aby przez godzinę można było oglądać nasz ulubiony serial. Gdybyśmy całkowicie zamienili na prąd energię chemiczną jednego kilograma wodoru, to moglibyśmy przez około dwa tygodnie bez przerwy oglądać telewizję, choć oczywiście nie jest to najzdrowszy sposób spędzania czasu. A ile wodoru potrzeba, aby pojechać samochodem na wakacje? Dostępny w sprzedaży osobowy samochód elektryczny Toyota Mirai II potrzebuje ok. 0,76 kg wodoru, aby przejechać 100 km. W takich pojazdach wodór nie jest po prostu spalany, jak to ma miejsce w przypadku konwencjonalnych samochodów napędzanych benzyną. W dalszej części rozdziału zostanie omówiony sposób, w jaki wodór jest przekształcany w prąd elektryczny, który następnie służy do napędzania silnika elektrycznego samochodu.

W tym miejscu warto również zadać pytanie, (np. w kontekście zastosowania wodoru do napędu samochodów) jaką objętość będzie zajmował kilogram wodoru? Prawo Avogadra mówi nam, że 1 mol gazu idealnego, przy tzw. standardowych warunkach (temperatura 0 °C i ciśnienie atmosferyczne 1013,25 hPa) ma objętość ok. 22,4 l. Kilogram wodoru to ok. 495,04 moli (masa 1 mola wodoru wynosi ok. 2,016 g), czyli zajmuje objętość aż ok. 11,1 tysiąca litrów! To o wiele za dużo, aby mogło się pomieścić w baku samochodu. Rozwiązaniem jest sprężenie wodoru pod wysokim ciśnieniem. Wystarczy wykonać to samo, co robimy kiedy pompujemy piłkę lub koło w rowerze. Zgodnie z prawem Boyle’a-Mariotte’a – dla gazu idealnego w stałej temperaturze objętość V danej masy gazu jest odwrotnie proporcjonalna do jego ciśnienia p , co można przedstawić za pomocą wzoru:

$$pV = \text{const}$$

Wynika z tego, że aby np. dziesięciokrotnie zmniejszyć objętość gazu, to musimy podnieść jego ciśnienie dokładnie dziesięć razy.

Samochód elektryczny Toyota Mirai II jest wyposażony aż w trzy zbiorniki paliwa o łącznej pojemności 142,2 l, w których pomieści się ok. 5,6 kg



wodoru, sprężonego pod ciśnieniem 70 MPa (megapaskali), czyli ok. 700 razy wyższym niż to nas otaczające! Dzięki temu, po pełnym zatankowaniu, możemy przejechać nawet 650 km, czyli tyle ile typowym samochodem zasilanym benzyną.

Jak widać jednym ze sposobów na magazynowanie wodoru jest przechowywanie go w postaci sprężonej. Inny sposób to skroplenie wodoru do bardzo niskiej temperatury $-252,76\text{ }^{\circ}\text{C}$ i przechowywanie w postaci ciekłej pod niskim ciśnieniem. Wodór można również adsorbować¹ w specjalnych materiałach, które są zdolne do pochłaniania wodoru niczym gąbka wodę lub magazynować go w postaci związków metalicznych. Dwa ostatnie rozwiązania charakteryzują się wysokim poziomem bezpieczeństwa, jednak ich wadą nadal pozostaje ograniczona ilość wodoru, jaką można zmagazynować w jednostce objętości takich materiałów. Interesującym rozwiązaniem jest również magazynowanie wodoru pod postacią różnego rodzaju związków chemicznych, np. amoniaku, który jest na dużą skalę wykorzystywany w produkcji nawozów.

Pomimo oczywistych zalet, jakie posiada wodór widać, że istnieją kluczowe wyzwania i ograniczenia w pełnym wykorzystaniu jego potencjału. Przede wszystkim wodór jest wybuchowy i łatwopalny, dlatego tak ważne jest opracowanie zaawansowanych technologii, zabezpieczeń i procedur w celu zminimalizowania ryzyka i zagwarantowania bezpieczeństwa jego przechowywania, transportu i użytkowania. Cząsteczka wodoru jest bardzo mała i ok. 14,4 razy lżejsza od powietrza. Ulatnianie się wodoru z instalacji to straty cennego surowca i zagrożenie dla środowiska. Z tego powodu magazynowanie wodoru wymaga stosowania drogich i zaawansowanych technologicznie materiałów do budowy zbiorników wysokociśnieniowych oraz zbiorników na skroplony wodór. Produkcja i magazynowanie wodoru mogą prowadzić do strat energii, dlatego też prace nad zwiększeniem wydajności energetycznej w całym łańcuchu wodorowym są niezbędne, aby korzystanie

¹ Adsorbować – wiązać cząsteczki cieczy lub gazu na powierzchni ciała stałego, <https://sjp.pwn.pl/sjp/adsorbowac;2438705.html>



z wodoru było jak najmniej kosztowne. Aktualnie, w najlepszym przypadku, efektywność konwersji energii elektrycznej na wodór, a następnie z powrotem na energię elektryczną wynosi ok. 30%.

Wodór nie pełni bezpośredniej roli jako źródło energii, lecz jest jej nośnikiem, umożliwiającym magazynowanie, transport, dystrybucję i wykorzystanie energii. Stanowi on formę energii wtórnej, ponieważ jego produkcja zawsze wymaga energii pierwotnej.

Pomimo tego, że wodór jest czystym nośnikiem energii, to obecnie jego produkcja z paliw kopalnych może powodować emisję gazów cieplarnianych. Określamy go wtedy jako **wodór szary** i może być produkowany w procesach reformingu gazu ziemnego czy gazyfikacji węgla. Te metody są obecnie tańsze, ale generują CO₂. Również może być produkowany z biomasy podczas procesów biochemicznych i termochemicznych. Niestety procesy te także generują CO₂ i są jeszcze słabo rozwinięte. Podobny, jeśli chodzi o sposób uzyskiwania, jest tzw. **wodór niebieski** – niskoemisyjny. Może być pozyskiwany z różnorodnych źródeł, takich jak energia odnawialna, paliwa kopalne z wychwytywaniem i magazynowaniem CO₂ czy w procesie elektrolizy wody z zastosowaniem prądu pochodzącego z niskoemisyjnych źródeł. Dzięki temu emisje CO₂ mogą być kontrolowane i ograniczone. Jednak w miarę jak odnawialne źródła energii (OZE) staną się powszechne, wykorzystanie źródeł paliw kopalnych do produkcji wodoru będzie z czasem maleć. **Już w niedalekiej przyszłości najlepszym rozwiązaniem będzie produkcja tzw. zielonego wodoru.** W ten sposób odnawialne źródła energii będą dostarczać czystą energię elektryczną, za pomocą której będzie można przeprowadzić proces tzw. **elektrolizy wody**, podczas której jest ona rozkładana na wodór i tlen. Używa się do tego **elektrolizera**, składającego się z dwóch elektrod: katody i anody zanurzonych w specjalnym roztworze wodnym. Na katodzie zachodzi proces redukcji i jest produkowany wodór, zaś na anodzie reakcja utleniania i wydzielanie tlenu. Równanie sumaryczne elektrolizy wody wygląda następująco:



Łatwo zauważyć, że równanie to jest poniekąd odwrotnością prezentowanego wcześniej równania przedstawiającego spalanie wodoru w obecności tlenu. Podczas elektrolizy zachodzi niejako proces odwrotny, podczas którego dostarczona energia elektryczna zostaje wykorzystana do rozerwania cząsteczek wody i utworzenia cząsteczek wodoru i tlenu. W tym miejscu warto zwrócić uwagę, że zgodnie z prawami przyrody, wiele procesów (również opisanych powyżej), w których chcemy przekształcić jeden rodzaj energii w drugi, nie przebiega bezstratnie. Inaczej mówiąc nie jest możliwe przekształcenie całkowitej energii chemicznej, zawartej w danym paliwie, wyłącznie w energię elektryczną lub energię mechaniczną. Większość instalacji czy urządzeń, takich jak blok energetyczny w elektrowni czy silnik spalinowy w samochodzie, wytwarza również duże ilości ciepła, które jest rozpraszane do otoczenia i w ten sposób traczone (patrz rozdziały 3-5). Z tego powodu również w procesie elektrolizy duża część energii elektrycznej będzie zamieniona w ciepło, zamiast być wykorzystana do produkcji wodoru i tlenu.

Pomimo wyzwań i trudności w produkowaniu i magazynowaniu wodoru, naukowcy i inżynierowie na całym świecie intensywnie pracują nad rozwojem nowych technologii. Inwestycje w badania i rozwój, rosnący udział odnawialnych źródeł energii oraz postęp technologiczny mają pomóc w przezwyciężeniu problemów i uczynieniu wodoru bardziej zrównoważonym nośnikiem energii w przyszłości. Warto podkreślić, że jak w każdym przypadku wielkich przemian technologicznych, inwestycje w nowoczesne rozwiązania i infrastrukturę są konieczne, aby w efekcie obniżyć koszty produkcji i dostarczania wodoru, co sprawi, że będzie on bardziej konkurencyjny na rynku.

Wodór jako źródło energii elektrycznej

Wodór, podobnie jak gaz ziemny w elektrowniach konwencjonalnych, może być poddany procesowi spalania. Dlatego też aktualnie na całym świecie planuje się również budowę takich elektrowni, które wykorzystywać będą ten sposób uzyskiwania energii elektrycznej. Ze względu na wysoką temperaturę spalania wodoru wymagane są do tego specjalistyczne technologie, jednak



już teraz istnieje techniczna i niemal bezinwestycyjna możliwość współspalania gazu ziemnego z wodorem w energetycznych blokach gazowych. Jednak, bardziej korzystnym rozwiązaniem do wytwarzania energii elektrycznej, szczególnie na mniejszą skalę, np. w samochodach, jest zastosowanie tzw. **ogniwa paliwowego**.

Ogniwo paliwowe to urządzenie, które zamienia wodór i tlen bezpośrednio w elektryczność. Jest jak mała fabryka, w której wodór i tlen łączą się razem tworząc wodę i prąd elektryczny, który możemy wykorzystać do zasilania dowolnego urządzenia. Najlepszą rzeczą w ogniwach paliwowych jest to, że w wyniku całego tego procesu nie ma żadnych szkodliwych substancji. Jest tylko woda i ciepło. Można powiedzieć, że w ogniwie paliwowym dzieje się to samo, co przy spaleniu wodoru w obecności tlenu. Różnica jest taka, że znaczna część energii chemicznej wodoru jest bezpośrednio przekształcana w energię elektryczną. Ogniwo paliwowe działa w sposób odwrotny niż elektrolizer i podobnie jak on nie ma stuprocentowej sprawności, która wynosi dla ogniwa ok. 40-60%, co jest jednak wartością wyższą niż w przypadku silników spalinowych. Wracając do naszych rozważań na przykładzie zasilanego wodorem samochodu elektrycznego, to właśnie ogniwo paliwowe w bezpośredni sposób przekształca energię chemiczną wodoru zgromadzonego w zbiorniku paliwa w energię elektryczną potrzebną do napędu silnika elektrycznego tego samochodu.

Podstawowe założenia gospodarki wodorowej

Powyżej przedstawiono podstawowe informacje dotyczące otrzymywania i przechowywania wodoru, sposobu generowania energii elektrycznej z wodoru za pomocą m.in. ogniwa paliwowego i wytwarzania wodoru w procesie elektrolizy. Wszystkie te elementy są niezbędnym składnikiem tzw. **gospodarki wodorowej**, czyli koncepcji ekonomicznej o kluczowym znaczeniu, jeśli chodzi o sposób wykorzystania energii w najbliższej przyszłości.



Głównym celem wykorzystania wodoru jako nośnika energii i paliwa jest istotne zmniejszenie emisji CO₂ i wspieranie zrównoważonych źródeł energii, aby zapobiec nadchodzącej katastrofie klimatycznej, która zagraża ludzkości. Główne zalety gospodarki wodorowej obejmują zrównoważoną produkcję energii, zwiększenie niezależności energetycznej, tworzenie nowych miejsc pracy i stymulowanie innowacji technologicznych. Oczywiście niniejsze opracowanie nie jest w stanie opisać wszystkich zagadnień związanych z gospodarką wodorową, dlatego poniżej zostaną jedynie przedstawione idee, które umożliwią zrozumienie funkcjonowania gospodarki opartej na wodorze.

Jednym z głównych ograniczeń OZE jest zmienny dostęp do źródeł energii odnawialnej oraz nieprzewidywalność dostarczanej przez nie energii. Otrzymywanie energii elektrycznej, np. ze słońca i wiatru, zależy od warunków atmosferycznych i pory dnia. Oczywiście brak światła słonecznego nocą, niższe natężenie promieniowania słonecznego podczas zachmurzenia lub brak wiatru, może powodować niestabilność w dostawie energii. Dlatego w sytuacjach, gdy produkcja energii z OZE jest zbyt niska, konieczne jest zastępowanie jej innym źródłem energii. Obecnie oznacza to kosztowną konieczność ciągłego utrzymania i eksploatacji konwencjonalnych elektrowni opartych na paliwach kopalnych, co próbujemy zmienić. Z drugiej strony, w miarę rozwoju i powszechnego stosowania OZE, coraz częściej zdarzają się dni, kiedy występuje, np. duże nasłonecznienie i wieje silny wiatr, a jednocześnie zapotrzebowanie na energię jest niskie. Sytuacja taka ma miejsce chociażby podczas dni wolnych od pracy i kiedy nie pracują fabryki. W takich momentach, potencjał dostępnej mocy OZE (związany z kosztami na jego utworzenie i utrzymanie) nie jest w pełni wykorzystywany. Przykładem na to mogą być odłączenia przydomowych paneli fotowoltaicznych od sieci energetycznej podczas słonecznych dni latem. Równie często można też zauważyć nieruchome wiatraki, pomimo wiejącego silnego wiatru. Wówczas dostępna z OZE moc przewyższa swoją wartością chwilowe zapotrzebowanie na energię. Wynika to z faktu, że energii elektrycznej nie da się po prostu



zmagazynować w taki sam sposób, jak np. węgla składowanego na hałdzie obok elektrowni lub gazu ziemnego w podziemnych zbiornikach. Magazynowanie energii w akumulatorach, np. takich jak w samochodach elektrycznych, rodzi problemy związane z ich pojemnością, masą, ograniczeniem cykli ładowania i rozładowywania, czasem ładowania, kosztami oraz kwestiami recyklingu i utylizacji. Jednym z rozwiązań tego problemu jest magazynowanie energii elektrycznej, w tym jej nadmiaru pochodzącego z OZE, w postaci wodoru. A odbywać się to może m.in. dzięki opisanemu powyżej procesowi elektrolizy. Tak wytworzony wodór potrafimy przez długi czas magazynować, a następnie w dowolnej chwili wykorzystać do wytworzenia energii elektrycznej. Ponadto może być transportowany na duże odległości i używany jako paliwo w środkach transportu, tak jak obecnie odbywa się to z benzyną. Należy jednak przypomnieć, że wodór jest trudny do przechowywania i transportu, stąd konieczne będzie rozwinięcie bezpiecznej infrastruktury do dostarczania wodoru do miejsc docelowych, chociaż już na świecie istnieją powszechnie dostępne stacje, gdzie możemy zatankować wodór. Innym sposobem na pośrednie, ale długotrwałe przechowywanie wodoru jest wspomniana wcześniej możliwość wykorzystania wodoru do syntezy wielu powszechnie stosowanych związków chemicznych. Wodór może być również w przyszłości stosowany w piecach hutniczych do wytopu stali, zastępując tradycyjnie używany koks, ograniczając w ten sposób emisję CO₂.

Transport jest jednym z tych obszarów gospodarki wodorowej, który będzie podlegał największej rewolucji. Pojazdy wodorowe, zarówno samochody osobowe (np. Toyota Mirai II), autobusy (np. produkowane pod Poznaniem marki Solaris) czy lokomotywy (np. marki PESA z Bydgoszczy) są już obecnie dostępne na rynku. Zasięg i czas tankowania samochodów na wodór są obecnie zbliżone do tych z silnikiem spalinowym, co sprawia, że z czasem staną się konkurencyjne w stosunku do obecnie używanych pojazdów. W miarę rozwoju infrastruktury wodorowej, takiej jak stacje tankowania wodoru, samochody wodorowe staną się bardziej dostępne dla konsumentów. W wielu krajach już teraz można znaleźć publiczne stacje tankowania wodoru, a po-



szczególne rządy wprowadzają zachęty finansowe, aby promować korzystanie z pojazdów wodorowych.

Wodór prawdopodobnie znajdzie również duże zastosowanie w transporcie wielkogabarytowym, w którym ilość baterii do zasilania pojazdu lub maszyny byłaby tak duża, że stałaby się ona zbyt ciężka by z niej korzystać. Mam tutaj na myśli ciężarówki długodystansowe, lotnictwo, specjalistyczne maszyny budowlane czy żeglugę dalekomorską, ciężki sprzęt wojskowy. Ponadto wodór już dzisiaj znalazł zastosowanie w produkcji nawozów azotowych, metanolu oraz w procesach rafinacji, czyli serii operacji stosowanych w celu oczyszczenia i przetworzenia surowców naturalnych. Zakłady azotowe i rafinerie wykorzystują aktualnie 90% produkowanego w Polsce wodoru².

Z uwagi na tak wiele możliwych zastosowań wodoru kluczowa jest kontynuacja inwestycji w badania i rozwijanie technologii wodorowych, po to by jeszcze efektywniej wykorzystywać wodór na rzecz zrównoważonego rozwoju³.

Po przeczytaniu tego rozdziału:

- ✓ **Wiesz już, co to jest elektroliza.**
- ✓ **Potrafisz wymienić wyzwania, z którymi mierzymy się w ramach wprowadzania technologii wodorowych.**
- ✓ **Potrafisz podać przykłady aktualnie stosowanych technologii wodorowych.**
- ✓ **Wiesz, jakie są główne założenia gospodarki wodorowej.**

² Popkiewicz M., *Zrozumieć transformację energetyczną. Od depresji do wizji albo jak wykopywać się z dziury, w której jesteśmy*. Warszawa 2023.

³ Dużo przydatnych informacji na temat technologii wodorowych możesz znaleźć na stronie prowadzonej przez dr. inż. Łukasza Lindnera: <https://www.wodor.edu.pl>





12

Transformacja energetyczna Wielkopolski Wschodniej

dr inż. Łukasz Lindner



ROZDZIAŁ 12

Z rozdziału 12 dowiesz się, jak dużo zmian zostało już dokonanych w Wielkopolsce Wschodniej pod kątem redukcji emisji gazów cieplarnianych.

Transformacja energetyczna jest obecnie przedmiotem działań wielu krajów, regionów oraz sojuszy międzynarodowych. Coraz większa ich ilość dąży do osiągnięcia celów klimatycznych i celów zrównoważonej gospodarki. W poprzednich rozdziałach przedstawiono zachodzące na Ziemi negatywne zmiany oraz możliwe scenariusze przeciwdziałania im. Za każdym razem, kiedy wprowadzamy jakiekolwiek zmiany czy reformy, należy uwzględnić różne strategie, odpowiednio dopasowane do danego regionu. Zupełnie inny scenariusz transformacji energetycznej będzie przykładowo odpowiedni dla Tajlandii a inni dla Islandii. Tajlandię charakteryzuje średnia temperatura roczna równa 34 °C, więc sieć ciepłownicza jest niepotrzebna. Na Islandii jednak średnia roczna temperatura wynosi 5 °C, stąd należy uwzględnić ogrzewanie budynków. Najbardziej optymalnym rozwiązaniem w Islandii jest wykorzystanie energii hydro- i geotermalnej. W rozdziale tym skupimy się na transformacji energetycznej w Polsce, a dokładnie wyzwaniach i możliwościach, jakie stawia województwo wielkopolskie.

Polska, podpisując w 2015 r. Porozumienie Paryskie, zobowiązała się do osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 r. Ponadto zgodnie z wymaganiami Unii Europejskiej i pakietu „FIT for 55”, do 2030 r. Polska musi zredukować emisję gazów cieplarnianych o 55% względem roku 1990 (obecnie redukcja jest na poziomie 15,7%¹). W kraju, w którym produkcja ener-

¹ Należy pamiętać, że pakiet „FIT for 55” to kilkanaście różnych wskaźników dotyczących emisji różnych substancji i innych docelowych poziomów redukcji, a więc wskazany parametr w niewielkiej mierze mówi o całokształcie zrealizowanych zadań.



gii opiera się głównie na energetyce konwencjonalnej (wydobywanie węgla, elektrownie gazowe/węglowe), transformacja energetyczna będzie równoznaczna z transformacją społeczno-gospodarczą, o czym więcej przeczytasz w dalszej części tego rozdziału. Parlament Europejski w 2021 r. ustanowił **Fundusz na rzecz Sprawiedliwej Transformacji**, który wspiera inwestycje w takich dziedzinach jak: łączność cyfrowa, czyste technologie energetyczne, redukcja emisji, regeneracja terenów przemysłowych, przekwalifikowanie pracowników i pomoc techniczna.

Transformacja energetyczna — Wielkopolska Wschodnia

Wielkopolska Wschodnia została objęta Funduszem na rzecz Sprawiedliwej Transformacji. Opracowane strategie rozwoju tego regionu uwzględniają specyfikę obszaru oraz problemy, jakie mogą pojawić się w nim wraz z wprowadzaną transformacją energetyczną. W regionie tym dostosowano istniejącą już infrastrukturę energetyczną do potrzeb nowoczesnej gospodarki. Ponadto w zmianach uwzględniono obszary zdegradowane przez przemysł górniczy. Przygotowana strategia pozwala przeprowadzić transformację energetyczną w Wielkopolsce Wschodniej oraz uwzględnia wszystkie przemiany społeczno-gospodarcze, które są jej następstwem^{2,3}. Duży udział w transformacji energetycznej Wielkopolski Wschodniej ma środowisko naukowe.

W skład Wielkopolski Wschodniej wchodzi 5 powiatów: 1 grodzki (Konin) i 4 ziemskie (kolski, koniński, słupecki, turecki). We wszystkich wymienionych powiatach działały kopalnie węgla brunatnego oraz elektrownie węglowe. Ich funkcjonowanie przyczyniło się do stworzenia rozwiniętej in-

² Wielkopolskie Biuro Planowania Przestrzennego w Poznaniu, *Strategia na rzecz neutralności klimatycznej Wielkopolska Wschodnia 2040*. Poznań 2021, https://wbpp.poznan.pl/download/129/strategia_na_rzecz_neutralnosci_klimatycznej_wielkopolska_wschodnia_2040.pdf

³ Wielkopolskie Biuro Planowania Przestrzennego w Poznaniu, *Strategia Rozwoju Wielkopolski Wschodniej 2040*. Poznań 2022, https://wbpp.poznan.pl/download/attachment/801/5895-zal-do-uchwaly-zww_01_12_2022.pdf



frastruktury technicznej przez działający Zespół Elektrowni Pątnów-Adamów-Konin (ZE PAK S.A.). Grupa ZE PAK produkowała 4% krajowej energii elektrycznej. Przykładowo w 2019 r. wygenerowała 6,6 TWh energii spalając 7,3 mln t węgla brunatnego. Obliczono, że produkcja energii elektrycznej wyemitowała 6,61 mln t CO₂, co stanowi 60% całkowitej emisji CO₂ w województwie wielkopolskim⁴. Nie uwzględniono przy tym emisji CO₂ podczas wydobywania węgla i wszystkich procesach pośrednich. Działalność kopalni węglowych stanowi także znaczne obciążenie dla środowiska, gdyż wpływa na całkowite przekształcenie terenu w obrębie odkrywki, obniżenie poziomu wód gruntowych, przesuszanie gleb, powstawanie osuwisk czy problemy z zagospodarowaniem odpadów wydobywczych. Zrezygnowanie z paliw kopalnych w tym regionie przyczyni się do redukcji emisji gazów cieplarnianych oraz poprawi jakość życia mieszkańców w obrębie: czystości powietrza, dostępu do wody, redukcji hałasu, jak i pozwoli odzyskać krajobrazową atrakcyjność regionu. Wiąże się to także z koniecznością zapewnienia nowych miejsc pracy i przekwalifikowania pracowników kopalni.

Poniżej przedstawiono działania, jakie zostały podjęte w województwie wielkopolskim przez grupę ZE PAK oraz administrację publiczną w obszarach takich jak energetyka, ciepłownictwo, nowe technologie oraz transformacja społeczno-gospodarcza. Omówiono szereg projektów realizowanych w Wielkopolsce Wschodniej w celu odejścia od działalności górniczej. Ich realizacja ma umożliwić stanie się temu regionowi zieloną doliną energii. Obszarem, w którym czysta i odnawialna energia będą stanowiły standard życia, a nowoczesna gospodarka oparta na inteligentnych specjalizacjach i nowych technologiach zapewni wysoką jakość życia, kształcenia, mieszkania i pracy⁵.

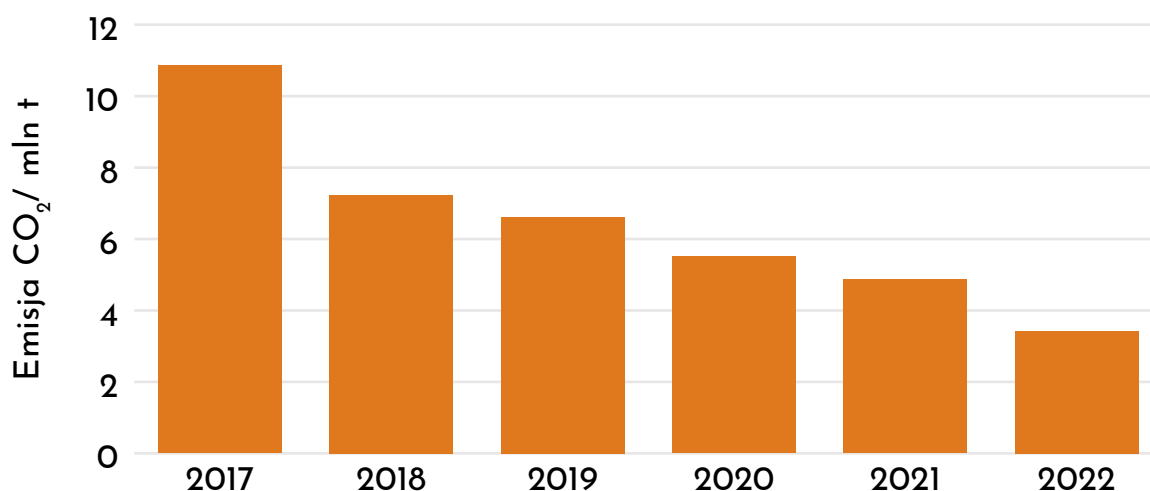
⁴ Agencja Rozwoju Regionalnego S.A. w Koninie, *Terytorialny Plan Sprawiedliwej Transformacji Wielkopolski Wschodniej „Wielkopolska Dolina Energii, siła Wielkopolski Wschodniej”*. Konin 2021, https://just-transitions-plan.wwf.eu/attachment/upl_1614172485_37986889.pdf

⁵ NEXUS Consultants sp. z o.o., *Strategia rozwoju Wielkopolski wodorowej do 2030 z perspektywą do roku 2040*. Poznań 2023, <http://iw.org.pl/wp-content/uploads/2023/05/Strategia-rozwoju-Wielkopolski-wodorowej-do-2030-z-perspektywa-do-2040.pdf>



Energia elektryczna

Wielkopolska Wschodnia jest obszarem charakteryzującym się znacznym śladem węglowym. Wynika on głównie z działalności górniczej oraz energetyki węglowej. W 2019 r. region wyemitował łącznie 7,81 mln t CO₂, co stanowi 68% całkowitej jego emisji w Wielkopolsce. Ponadto w 2021 r. w Wielkopolsce zużyto na cele przemysłowe 962,5 hm³ wody, z czego przemysł energetyczny w Koninie pochłonął 96%⁶. Dane te jednoznacznie pokazują konieczność transformacji sektora energetycznego w województwie wielkopolskim. Grupa ZE PAK włączyła się w transformację i systematycznie przeprowadza modernizację elektrowni, kopalni i wprowadza działania mające na celu zmniejszenia emisyjności przy produkcji energii. W 2012 r. uruchomiony został pierwszy blok biomasowy. W latach od 2017 do 2022 udało się zmniejszyć emisję CO₂ niemal o 70% (**Rys. 1**).



Rys. 1 Emisja CO₂ Grupy ZE PAK w latach od 2017 do 2022.

⁶ Woda w elektrowniach wykorzystana jest głównie do schładzania czynnika roboczego, co stanowi 90-95% całkowitego „zapotrzebowania”, a nie „zużycia”, bo następnie:

- trafia z powrotem do rzek (układ otwarty);
- trafia z powrotem do zbiornika (układ zamknięty);
- jest ochładzana przy użyciu chłodni kominowej (układ zamknięty – chłodnia kominowa).



Transformacja energetyczna związana z wykorzystywaniem czystej energii, wiąże się z wygaszaniem elektrowni, których działalność oparta jest na paliwach kopalnych. Prowadzi to do zamykania działalności kopalni oraz wygaszania elektrowni węglowych. W 2018 r. została zamknięta elektrownia w Adamowie, a od 2020 r. zakończyły działalność kolejne kopalnie odkrywkowe znajdujące się w Adamowie, Józwinie i Drzewcach. Tereny poodkrywkowe są mocno zdegradowane, dlatego też dąży się do przywrócenia ich użyteczności. Proces ten jest kosztowny i czasochłonny. Jednak odpowiednio przygotowany teren poodkrywkowy może w dalszym ciągu służyć do wytwarzania energii. Przykładem jest teren Brudzewa, gdzie powstała największa w Polsce farma fotowoltaiczna o mocy 70 MWp (megawatopik, odnosi się do maksymalnej mocy wyjściowej systemu fotowoltaicznego w idealnych warunkach, np. gdy słońce świeci bezpośrednio na panele, a temperatura jest na optymalnym poziomie). Jej działalność powinna przyczynić się do redukcji 56,7 tys. t CO₂ rocznie⁷. Całkowita produkcja energii pozostaje na podobnym poziomie ok. 1100-1200 MW, a instalacje OZE wykorzystują przestrzeń i dostępność infrastruktury zwalnianej przez energetykę konwencjonalną. Planuje się kolejne inwestycje, które mają na celu wykorzystanie terenów, na których znajdowały się kopalnie odkrywkowe. W gminie Przykona ma powstać wielkoskalowa elektrownia fotowoltaiczna o mocy 180 MWp. Ponadto grupa ZE PAK realizuje rozbudowę farm wiatrowych w gminie Kazimierz Biskupi oraz Mirosławiu.

Zamknięte kopalnie odkrywkowe w Józwinie i Drzewcach, które przeszły rekultywację⁸, obecnie napełniane są wodą. Ma to na celu doprowadzenie do pozytywnego bilansu wody, który zaburzony został przez działalność kopalni. Do 2027 r. w powiecie Tureckim prowadzone będą prace mające przywrócić bieg 75 km rzek oraz 813 ha powierzchni wody w zbiornikach. Podobne prace zaplanowano w powiecie konińskim, gdzie do 2035 r. ma po-

⁷ <https://zepak.com.pl>

⁸ Rekultywacja – przywracanie wartości użytkowych lub przyrodniczych terenom zniszczonym przez działalność człowieka.



wstać 3500 ha powierzchni wody. Powstałe zbiorniki wodne wykorzystane zostaną głównie do wspomagania działalności rolniczej na tych terenach.

Transformacja energetyczna i dążenie do neutralności klimatycznej nie powinny zaburzać bezpieczeństwa energetycznego kraju. Wielkopolska Wschodnia nie jest w stanie pokryć 100% zapotrzebowania energii elektrycznej z wykorzystaniem wyłącznie energetyki odnawialnej. Niezbędne jest wykorzystanie innych, niskoemisyjnych źródeł energii. Pozostałe zapotrzebowanie energetyczne może zapewnić **elektrownia jądrowa**. Pozwala ona na ciągłą i bezpieczną produkcję energii elektrycznej i ciepłej oraz jej działalność nie emituje gazów cieplarnianych. Sposób działania oraz wady i zalety energetyki jądrowej opisane zostały w rozdziale 10. Budowa jednej z nich planowana jest w Pątnowie (Konin), na terenach należących do grupy ZE PAK⁹. Inwestycja realizowana jest we współpracy spółki PGE PAK Energia Jądrowa i koreańskim koncernem Korea Hydro&Nuclear Power. Planowane jest uruchomienie 2 reaktorów o łącznej mocy 2800 MW, co przekłada się średnio na 12% zapotrzebowania na energię elektryczną w Polsce. To zdecydowanie więcej niż obecne 4%, które generuje grupa ZE PAK. W listopadzie 2023 r. została wydana pozytywna decyzja Ministerstwa Klimatu i Środowiska, co pozwoliło rozpocząć pracę nad projektem budowy elektrowni jądrowej. Obecnie prowadzone są prace związane z planowaniem zagospodarowania terenu, opracowywania studium wykonalności oraz opracowanie oceny oddziaływania na środowisko. Planowane jest oddanie elektrowni do użytku w 2035 r.

Energia ciepła

W 2020 r. Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej w Koninie rozpoczęło budowę ciepłowni, która w swojej działalności będzie wykorzystywała energię geotermalną. Inwestycja prowadzona jest na Wyspie Pocijowo, na której występują źródła gorącej wody o temperaturze 97,5 °C na głęboko-

⁹ Strategia ESG 2023-2027, <https://ri.zepak.com.pl/pl/o-spolce/strategia-esg.html>



ści 2,5 km. Do jej budowy wykorzystana zostanie technologia bazująca na rozwiązaniu „dubletu geotermalnego”, który przewiduje wydobycie wody z jednego otworu. Następnie dostarczana ona będzie do wymiennika ciepła i odprowadzona z powrotem do odwiertu. Zaprojektowany w ten sposób układ jest całkowicie zamknięty, odnawialny i ekologiczny. Pozyskane w opisany sposób ciepło wykorzystane zostanie w systemie ciepłowniczym miasta, z którego korzysta około 80% mieszkańców Konina. Przewidywane jest zakończenie realizacji inwestycji w kwietniu 2024 r. Oddana do użytku ciepłownia pozwoli na dostarczenie 160 000 GJ energii cieplnej, która stanowi około 10% zapotrzebowania sieci miejskiej. Warto podkreślić, że inwestycja ta ma pozytywny wpływ na ochronę środowiska, ponieważ szacuje się, że pozwoli na redukcję emisji CO₂ równą 6746 t rocznie.

Od 2015 r. miasto Konin korzysta z ciepła wytwarzanego w Zakładzie Termicznego Unieszkodliwiania Odpadów prowadzonego przez Miejski Zakład Gospodarki Odpadami Komunalnymi w Koninie. Odpady komunalne wykorzystywane w spalarni uznaje się za odnawialne źródło energii. Podstawowym zadaniem Zakładu jest termiczne unieszkodliwienie specjalnie wyselekcjonowanych odpadów w sposób niezagrażający środowisku. Zakład ma możliwość przetwarzania 94 000 t odpadów rocznie, co stanowi 12,05 t odpadów na godzinę. Działalność zakładu pozwala na odzyskanie energii cieplnej z procesu spalania odpadów oraz wykorzystanie jej do produkcji energii elektrycznej oraz ciepła użytkowego. Rocznie zakład pozwala wyprodukować około 47 000 MWh energii elektrycznej oraz 120 000 GJ energii cieplnej¹⁰.

Z kolei w 2012 r. został oddany do użytku kocioł opalany biomasą. Do jego działania wykorzystuje się paliwo w postaci biomasy drzewnej i pochodzenia rolniczego, takie jak np. wióry i trociny z drzew iglastych i liściastych, palety drewniane czy korę drzewną. Biomasa obecnie uznawana jest za odnawialne źródło energii, ponieważ pozwala na redukcję:

¹⁰ <https://www.mzgok.konin.pl>



- emisji dwutlenku siarki o ok. 1200 t rocznie oraz tlenku azotu o ok. 1000 t rocznie;
- emisji CO₂ netto i uzyskanie neutralności dla środowiska¹¹;
- wydobycia paliw kopalnych ze wszystkimi ich konsekwencjami¹².

Wykorzystywane obecnie technologie wytwarzania energii ciepłej z odnawialnych źródeł energii pozwalają zaopatrzyć największe miasto w Wielkopolsce Wschodniej w 90% jego zapotrzebowania¹³. Po oddaniu w kwietniu 2024 r. do użytku ciepłowni geotermalnej, która uzupełni pozostałe braki w energii ciepłej, czyniąc tym samym Konin neutralnym dla środowiska miastem pod kątem uzyskiwania ciepła.

Energia wytwarzana z innych źródeł

Istotnym celem transformacji energetycznych jest wykorzystanie nowych nośników energii. Region Wielkopolski Wschodniej w swoich strategiach planuje wykorzystywać **zielony wodór**. Planowana jest produkcja wodoru w procesie elektrolizy wody na terenie elektrowni Konin. Do tego celu wykorzystana zostanie energia pochodząca ze spalania biomasy oraz energia słoneczna. Zapotrzebowanie na wodór jest obecnie relatywnie małe, co wynika z wstępnego etapu wprowadzania technologii wodorowych zarówno w Polsce jak i Europie. Grupa ZE PAK do końca 2023 r. otworzyła 4 stacje: 2 ogólnodostępne oraz 2 na terenie zamkniętych zakładów na użytek własny. Rozpoczęła także budowę zakładu produkującego autobusy miejskie zasilanie ogniwami wodorowymi. Technologię wodorowe wprowadza także

¹¹ Zgodnie z prawem zachowania masy – ilość emitowanego CO₂ jest równa ilości pochłoniętego dwutlenku węgla podczas długości życia roślin.

¹² <https://zepak.com.pl>

¹³ Urzędu Miejski w Koninie, *Konin, Zielone Miasto Energii. Neutralność klimatyczna Wielkopolski Wschodniej do 2040*. Konin 2022, <https://hnl.pl/images/konferencja/VI/download/waldemar-jaskolski-heat-no-lost-miasto-konin-liderem-gospodarki-nisko-i-zeroemisyjnej-w-wielkopolsce-wschodniej.pdf>



miasto Konin, które uruchomiło w lipcu 2022 r. pierwszą w Polsce linię obsługującą autobusy wodorowe. Do użytku miejskiego wykorzystano autobus Solaris Urbino 12 Hydrogen oraz testowano Neso Bus.

Konin jest partnerem projektu Hydrogen Utopia, który uważany jest za innowacyjny w podejściu do produkcji wodoru oraz utylizacji odpadów. Start-up Hydrogen Utopia¹⁴ planuje przetwarzać tworzywa sztuczne, które nie nadają się do recyklingu, w wodór i energię elektryczną. Projekt ten spełnia wszystkie kryteria innowacyjności, wytycznych gospodarki obiegu zamkniętego (GOZ) oraz redukcji emisji. Wykorzystana technologia w projekcie pozwoli na wytworzenie wysokiej czystości gazu syntezowanego. Następnie gaz ten zostanie poddany procesowi odseparowania wodoru oraz uzyskania energii elektrycznej i/lub ciepła.

Kolejnym pomysłem tego regionu, którego efekty mają przyczynić się do redukcji emisji gazów cieplarnianych, jest budowa biogazowni dla Miejskiego Zakładu Gospodarki Odpadami Komunalnymi. Projekt dotyczy budowy instalacji do produkcji biogazu z odpadów komunalnych biodegradowalnych i kompostu z pofermentatu wraz z instalacją do produkcji paliwa z biogazu (CNG) i stacją dystrybucji. Pozyskiwane paliwo ma służyć zasilaniu pojazdów komunalnych. Projekt jest na etapie analizy oraz pozyskiwania zgód środowiskowych i finansowania.

Na terenie Konina powstał park przemysłowy – *Konin Accolade Park*, który uzyskał certyfikat BREEAM. Park otrzymał 90% punktów, co czyni go najwyżej ocenionym budynkiem przemysłowym w Polsce. Certyfikat oznacza, że poddany jest on ocenie cyklu życia, aby poznać jego wpływ na otoczenie, w tym emisję śladu węglowego. Wprowadzono szereg proekologicznych rozwiązań, które pozwoliły na zmniejszenie zapotrzebowania na energię pierwotną o 50% (wartość jest niższa niż wymagają tego regulacje krajowe)¹⁵.

¹⁴ <https://www.hydrogenutopia.eu/>

¹⁵ Urzędu Miejski w Koninie, *Konin. Zielone Miasto Energii. Neutralność klimatyczna Wielkopolski Wschodniej do 2040*. Konin 2022, <https://hnl.pl/images/konferencja/VI/download/waldemar-jaskolski-heat-no-lost-miasto-konin-liderem-gospodarki-nisko-i-zeroemisyjnej-w-wielkopolsce-wschodniej.pdf>



Transformacja społeczna

Bardzo ważne w transformacji energetycznej jest wprowadzanie równolegle transformacji społecznej. Każde wprowadzane rozwiązanie energetyczne powinno być przedstawione mieszkańcom. Ponadto ważne jest, aby rozwijać kwalifikacje zawodowe mieszkańców. Trzeba dążyć do aktywizacji pracowników zatrudnionych w obszarze górniczo-energetycznym, wygaszaniu kierunków edukacyjnych związanych z wydobywaniem np. węgla oraz uruchomieniu kierunków związanych z nowoczesnymi rozwiązaniami dla energetyki. Funduszu Sprawiedliwej Transformacji przewiduje szereg projektów, które pozwolą, m.in. na:

- wsparcie kształcenia zawodowego;
- edukację przedszkolną;
- rozwój przedsiębiorczości;
- programy na rzecz rozwoju lokalnego;
- budowę ekosystemu start-up’owego, rozwój hubów technologicznych i inkubatorów przedsiębiorczości czy przestrzeni coworkingowych;
- odbudowę oraz zwiększanie zasobów wodnych na obszarach zdegradowanych pod względem hydrologicznym;
- rozwój infrastruktury dla indywidualnego ruchu nieemisyjnego;
- inwestycje w zakresie kompleksowej modernizacji energetycznej budynków mieszkalnych wielorodzinnych;
- rewitalizację obszarów zdegradowanych na terenach poprzemysłowych i pokopalnianych.

Transformacja energetyczna to potężne przedsięwzięcie, które dotyczy wielu regionów. Wymiana informacji, doświadczeń, czerpanie inspiracji, organizowanie pracy – wszystko to można zawrzeć w sloganie „razem możemy więcej”. Dlatego bardzo ważnym elementem w przeprowadzeniu przemysłowej strategii jest współpraca wewnątrz i na zewnątrz regionu. Wielkopolska



Wschodnia należy do Klastra Zielonej Energii Konina, Wielkopolskiej Doliny Wodorowej oraz promuje markę Wielkopolska Dolina Energii. Ponadto skupia wszystkich interesariuszy poprzez Agencję Rozwoju Regionalnego w Koninie, który reprezentuje region w wielu organizacjach¹⁶.

Fundusz Sprawiedliwej Transformacji przewiduje także dofinansowania projektów dla indywidualnych mieszkańców, przedsiębiorców i jednostek budżetowych. Celem realizowanych projektów będzie pokrycie zapotrzebowania przedsiębiorstw na energię w związku z prowadzoną działalnością produkcyjną czy też usługową. Prowadzone projekty w edycji 2023 obejmowały dofinansowanie na poziomie 80%, aktualnie w 2024 r. są na poziomie minimum 70%.

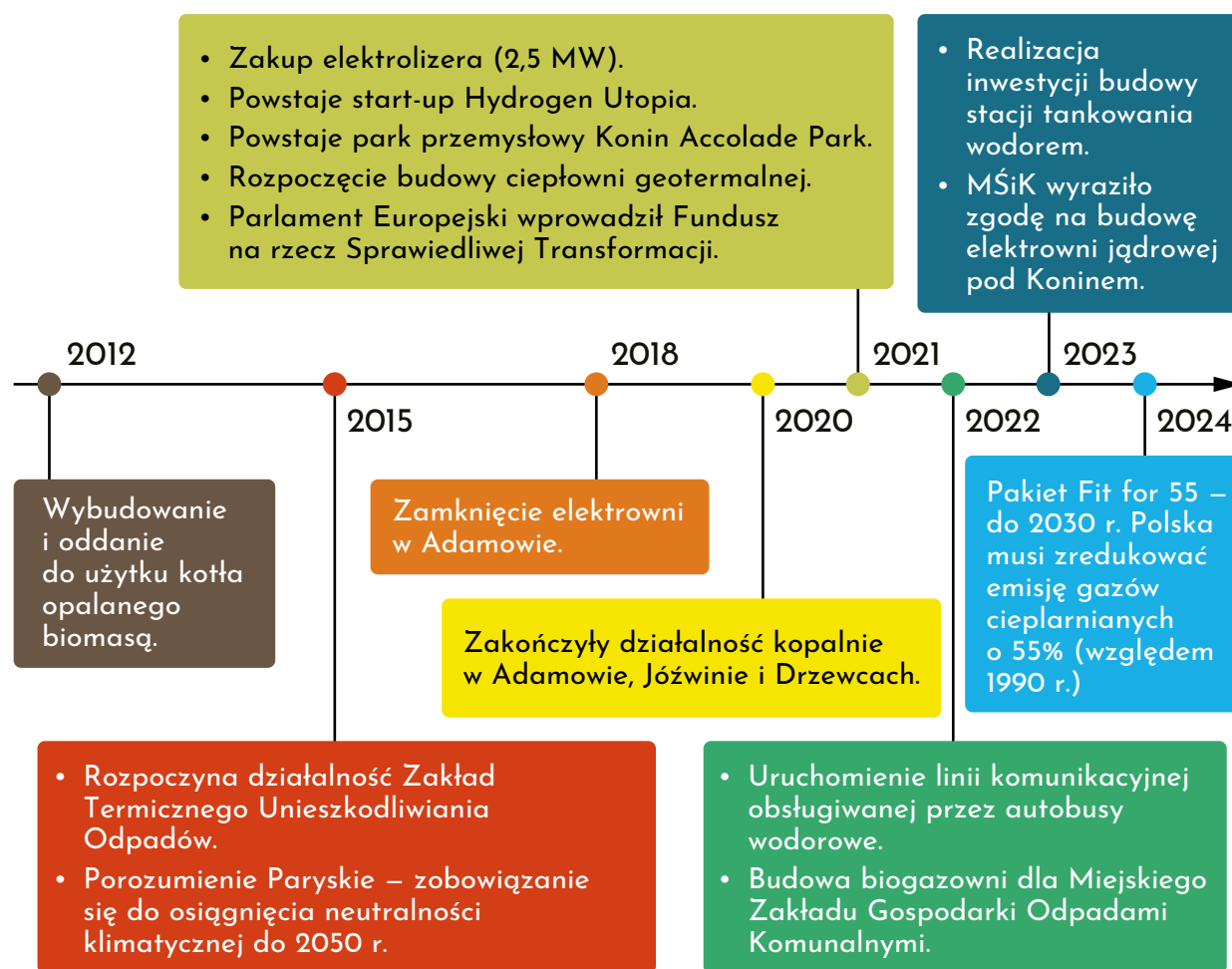
Projekty obejmują szereg działań:

- ocieplenie obiektu, wymianę okien, drzwi zewnętrznych;
- przebudowę/modernizację systemów grzewczych, w tym centralnego ogrzewania;
- instalację OZE w modernizowanych energetycznie budynkach;
- wymianę oświetlenia na energooszczędne;
- zastosowanie inteligentnych systemów zarządzania energią;
- modernizację instalacji wewnętrznego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej.

Widzimy na przykładzie Wielkopolski Wschodniej, że transformacja energetyczna jest możliwa i warto tworzyć proekologiczne działania. W regionie istnieje już największa farma słoneczna, pierwsza w Polsce stacja tankowania wodoru, pierwsza wodorowa linia autobusowa, a także pierwsza instalacja do wytwarzania zielonego wodoru. Region ten ma ambitny plan uzyskania neutralności klimatycznej do 2040 r., czyli dekadę wcześniej niż założenia wszystkich pakietów klimatycznych. Na **Rys. 2** przedstawiono, jakie działania podjęto dotychczas w Wielkopolsce Wschodniej oraz jakie działania zaplanowano.

¹⁶ <https://arrtransformacja.org.pl>





Rys. 2 Działania podjęte w Wielkopolsce Wschodniej na rzecz ochrony klimatu.

Po przeczytaniu tego rozdziału:

- ✓ Potrafisz podać metody wytwarzania energii, które nie wykorzystują paliw kopalnych.
- ✓ Wiesz już, jakie aspekty danego regionu powinny być wzięte pod uwagę przy wprowadzaniu zielonej transformacji.
- ✓ Potrafisz podać przykłady działań wpisujących się w obszar transformacji energetycznej Wielkopolski.





13

Razem dla lepszego jutra

dr hab. Iwona Olejniczak

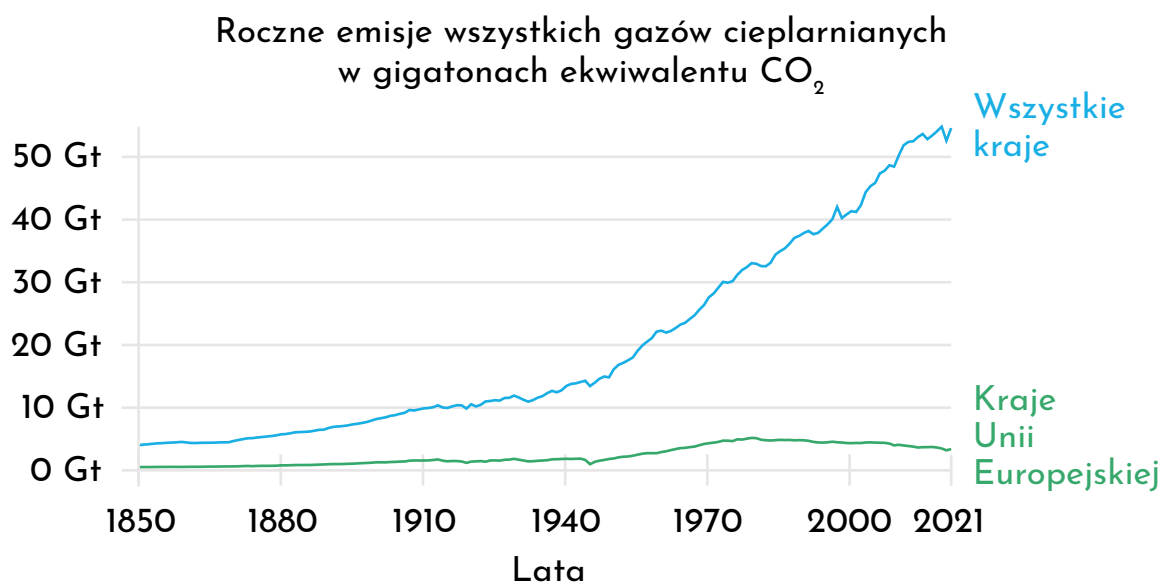


ROZDZIAŁ 13

Rozdział 13 zawiera szereg pomysłów, które pomogą każdemu z nas zredukować swój ślad węglowy.

Zmiany klimatu stanowią jedno z najpilniejszych wyzwań, przed którymi obecnie stoimy. Dlatego też musimy działać już teraz!

Od czasów przedindustrialnych globalne emisje gazów cieplarnianych cały czas rosły. Obecnie emitujemy ich ok. 55 Gt (gigaton) rocznie¹ (**Rys. 1**), ale ten trend może w najbliższym czasie zostać odwrócony, jeżeli będziemy coraz więcej energii uzyskiwać ze źródeł odnawialnych. Emisje w Unii Europejskiej już od pewnego czasu maleją. Przykładowo obecny poziom emisji gazów cieplarnianych w krajach Unii Europejskiej jest na takim samym poziomie, jaki był ok. 1960 r.



Rys. 1 Roczne emisje wszystkich gazów cieplarnianych w gigatonach ekwiwalentu CO₂¹.

¹ <https://ourworldindata.org/entries-by-year/2023>



Aby zatrzymać globalne ocieplenie konieczne jest jednak, aby emisje generowane przez człowieka spadały znacznie szybciej i w większych ilościach, w przypadku CO₂ nawet do zera. Jak tego dokonać? Najlepiej byłoby zupełnie zrezygnować z paliw kopalnych na rzecz energii ze źródeł odnawialnych i elektrowni jądrowych. Niestety, w najbliższym czasie na to się nie zanosi. A czy dałoby się zmniejszyć emisje w jakiś inny sposób? Jak najbardziej! Wszyscy na różne sposoby korzystamy z wytworzonej energii oraz produktów żywnościowych i wszyscy możemy swój udział ograniczyć. A więc do dzieła!

Co to jest ślad węglowy?

Abyśmy wiedzieli, na co powinniśmy zwrócić szczególną uwagę, to w pierwszej kolejności trzeba zrozumieć, za co odpowiada parametr, jakim jest **ślad węglowy**. Mianowicie określa on całkowitą emisję CO₂e związaną ze wszystkimi działaniami danej osoby lub innego podmiotu, na przykład budynku, kraju, towaru lub usługi. Ślad węglowy możemy podzielić na **emisje bezpośrednie i pośrednie (Rys. 2)**. Emisje bezpośrednie wynikają przede wszystkim ze spalania paliw kopalnych w miejscu produkcji energii, ogrzewaniu i transporcie. Emisje bezpośrednie metanu w rolnictwie obejmują gaz wydzielany z pól ryżowych oraz pochodzący z fermentacji materii organicznej we wnętrznościach przeżuwaczy. Emisje pośrednie są związane głównie z produkcją towarów i usług. Zmiana użytkowania gruntów może skutkować zarówno bezpośrednią jak i pośrednią emisją CO₂. Kiedy lasy lub inne tereny naturalne są przekształcane do celów rolniczych lub rozwoju miast, dochodzi do bezpośredniego uwalniania CO₂ zmagazynowanego w drzewach, roślinach i glebie. Emisje pośrednie są związane z produkcją biopaliw.





Rys. 2 Definicja śladu węglowego.

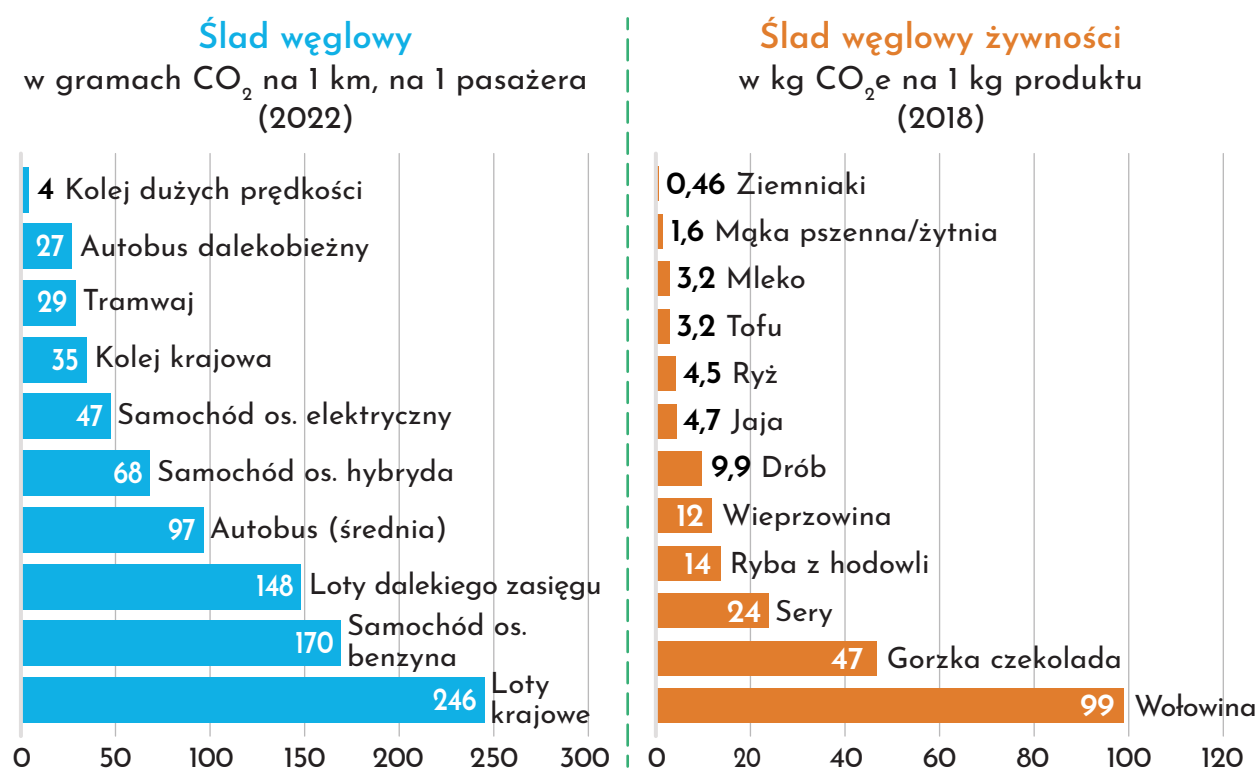
Miarą śladu węglowego jest jednostka masy ekwiwalentu dwutlenku węgla, np. tona CO₂e (e oznacza ekwiwalent). Przy obliczaniu śladu węglowego państw należy brać pod uwagę nie tylko emisje na ich własnym terytorium, lecz także te towarzyszące produkcji dóbr importowanych. Ślad węglowy pozwala zrozumieć wpływ stylu życia danej osoby na globalne ocieplenie, a w większej skali – wpływ określonych działań w gospodarce i życiu społecznym. Jeśli np. jeździmy samochodem z silnikiem spalinowym, to oczywiście do atmosfery trafia CO₂. Jeżeli jednak używamy samochodu elektrycznego, to na jego ślad węglowy wpływają emisje związane z produkcją prądu elektrycznego w danym kraju.

Na nasz ślad węglowy duży wpływ ma zużycie energii w naszych domach, wybór środków transportu, nawyki żywieniowe oraz wszystko to, co kupujemy. Sumaryczne emisje CO₂ z paliw kopalnych w Polsce na jednego mieszkańca w 2020 r., z uwzględnieniem konsumpcji, wyniosły 7 t, tyle samo ile wynosi średnia w Unii Europejskiej. Dla porównania, w Stanach Zjednoczonych wyniosły one 15 t, a w Afryce poniżej 1 t. Szacuje się, że bezpieczny poziom śladu węglowego, dający szansę na zatrzymanie globalnego ocieplenia na poziomie 1,5 °C powyżej temperatury z czasów przedprzemysłowych, wynosi około 2,8 t CO₂ na osobę w ciągu roku.



Jak duży jest nasz ślad węglowy?

Wszędzie tam, gdzie jest nasz ślad węglowy, możemy znaleźć sposób na jego redukcję, a niejednokrotnie też oszczędność pieniędzy. Zacznijmy od środków transportu (**Rys. 3**). **Transport** odpowiada za około jedną czwartą globalnej emisji CO₂. W krajach zamożnych, w których ludność często podróżuje, transport może stanowić jedną z największych części indywidualnego śladu węglowego. Porównanie sposobów podróżowania pod względem ich śladu węglowego prowadzi do wniosku, że najgorzej wypadają podróże samolotem na niewielkie odległości, a najlepiej – koleje wysokich prędkości. Bardzo dobrze wypada transport publiczny, zwłaszcza tramwaj. Oczywiście, najlepsze z punktu widzenia emisji gazów cieplarnianych, jest przemieszczanie się rowerem lub pieszo.



Rys. 3 Ślad węglowy w zależności od rodzaju transportu² oraz rodzaju żywności³.

² <https://ourworldindata.org/grapher/carbon-footprint-travel-mode>

³ <https://ourworldindata.org/grapher/food-emissions-supply-chain>

Produkcja żywności jest również odpowiedzialna za jedną czwartą światowej emisji gazów cieplarnianych. Wiele osób ma już świadomość, że dieta i wybory żywieniowe znacząco wpływają na nasz ślad węglowy (**Rys. 3**). Co można zrobić, aby go zmniejszyć? Wybierać produkty o mniejszym śladzie węglowym! Popatrzmy na zestawienie śladu węglowego wybranych produktów żywnościowych. Zwycięzcą rankingu są ziemniaki z emisją 0,46 kg CO₂e na 1 kg, a bohaterem negatywnym wołowina z emisją 99 kg CO₂e. Z punktu widzenia ochrony klimatu w codziennej diecie może być dużo chleba, makaronu i ziemniaków, ale wołowiny lepiej unikać. Wygląda na to, że nie warto odżywiać się też czekoladą. Z drugiej strony, bardzo duże znaczenie dla ograniczenia śladu węglowego ma walka z marnotrawstwem żywności, np. w Polsce marnuje się ok. 30% jedzenia. Pamiętajmy przy tym oczywiście o zrównoważonej diecie, która dostarcza wszystkie niezbędne składniki odżywcze.

Przemysł modowy odpowiada za ok. 8-10% globalnej emisji dwutlenku węgla i prawie 20% ścieków. Głównym winowajcą jest tzw. „fast fashion”, czyli po polsku „szybka moda”, polegająca na masowej produkcji niedrogich, ale i kiepskich jakościowo ubrań, zgodnie z najnowszymi trendami w modzie. Przeciętna osoba kupuje dziś o 60% więcej ubrań niż na przełomie wieków i przechowujemy je o połowę krócej. Trend ten doprowadził do postrzegania odzieży jako przedmiotów jednorazowego użytku, a nie trwałych produktów. Jednak odejście od tego modelu jest możliwe. Coraz więcej osób kupuje ubrania używane, a już niepotrzebne odsprzedaje albo nieodpłatnie przekazuje dalej. Starajmy się kupować mądrze tylko to, co jest nam naprawdę potrzebne. Naprawa uszkodzonych ubrań lub decyzja o noszeniu ich przez dłuższy czas może zmniejszyć wpływ na środowisko nawet o 30%.

Gospodarstwo domowe zużywa rocznie ilość energii, jakiej odpowiada emisja średnio od 4 do 50 t CO₂ rocznie. To całkiem sporo. Za część tej emisji odpowiada zużycie wody, która jest uzdatniana, dostarczana do domów, w części podgrzewana, a potem odbierana w postaci ścieków, które trafiają do oczyszczalni. Powinniśmy więc oszczędzać zarówno wodę jak i energię w każdy możliwy sposób. Starannie planujmy zakupy, aby nie kupować



rzeczy zbędnych, a tych, które już mamy, używajmy jak najdłużej. Możemy zmniejszyć ilość odpadów, wykorzystując ponownie przedmioty, takie jak butelki, słoiki lub torby, zamiast je wyrzucać lub kupować nowe. Materiały, których nie możemy ponownie wykorzystać, np. plastik, puszki, kartony lub szkło, umieszczajmy w odpowiednich pojemnikach na odpady z przeznaczeniem do recyklingu. Działania te nie tylko zmniejszają nasze emisje, ale także oszczędzają pieniądze i miejsce w mieszkaniu.

Ślad węglowy pomaga nam ocenić, jak dokonywać mądrych wyborów w życiu codziennym. Przyjrzyjmy się bliżej niektórym surowcom, z których powstają torby zakupowe, takim jak: plastik, papier i bawełna. Jaki jest ich ślad węglowy? Dosyć nieoczywisty. Popularna torba plastikowa z polietyleno wysokiej gęstości (HDPE) odpowiada za emisję ponad 1,5 kg CO₂, ale dla torby z papieru emisje wynoszą ok. 5,5 kg CO₂, a dla bawełnianej co najmniej 83 kg. Z tego zestawienia wynika, że torba papierowa, gdyby ją użyć 3 razy, byłaby mniej więcej tak dobra jak plastikowa jednorazówka. Z kolei torbę bawełnianą powinniśmy wykorzystać co najmniej 52 razy. Okazuje się, że torby najbardziej przyjazne środowisku są mocne, trwałe i nadające się do wielokrotnego użycia, ale zrobione z materiału o mniejszym śladzie węglowym niż bawełna czy papier, np. z winylu, poliestru i innych wytrzymałych tworzyw sztucznych. Takie torby są już w powszechnym użyciu i starczą na lata, a zużyte trafiają do recyklingu. Niektóre propozycje redukcji śladu węglowego w odniesieniu do gospodarstw domowych i codziennego życia pokazuje infografika na końcu rozdziału.



W jedności siła

W staraniach o ochronę klimatu pierwszoplanową rolę odgrywa społeczne poparcie, które umożliwia wdrażanie systemowych zmian zarówno na poziomie krajowym jak i międzynarodowym. Odejście od tradycyjnych źródeł energii, takich jak węgiel, gaz czy ropa naftowa, jest możliwe dzięki zaangażowaniu obywateli, którzy oddają głosy w wyborach na odpowiedzialnych polityków. Bardzo ważne jest aktywne promowanie zrównoważonego rozwoju, które często staje się domeną osób młodych i może wpływać na decyzje polityczne. Jakub Dobosiewicz, 16-letni uczeń

II Liceum Ogólnokształcącego w Poznaniu, znalazł się niedawno wśród Rise Global Winners 2023, czyli stu najbardziej obiecujących młodych ludzi w wieku 15-17 lat, którzy angażują się w rozwiązywanie ważnych problemów o skali globalnej. Program Rise, którego Kuba jest laureatem, to jedna z filantropijnych inicjatyw byłego dyrektora generalnego Google'a Erica Schmidta i jego żony o łącznej wartości 1 mld dolarów. Program wspiera młode osoby z całego świata, które w przyszłości staną się liderkami i liderami i będą działać na rzecz innych. Jakub interesuje się kwestiami kryzysu klimatycznego, migracji i praw człowieka, a także bezpieczeństwa żywnościowego. Jest aktywistą Inicjatywy Wschód oraz ambasadorem Europejskiego Paktu na rzecz Klimatu i wierzy w siłę młodych ludzi. W ramach programu Rise doceniono stworzoną przez niego platformę Mendly, która promuje naprawę ubrań jako alternatywę dla nadmiernej konsumpcji oraz działania na rzecz ograniczenia nadprodukcji odzieży.



Zdj. 1 Jakub Dobosiewicz





WYWIAD

Iwona Olejniczak: Jak to się stało, że zainteresowałeś się problemem negatywnego wpływu przemysłu odzieżowego na planetę i ludzi?

Kuba Dobosiewicz: Wszystko zaczęło się od mojego zainteresowania klimatem, który jest mi bliski od zawsze. Czytając o wpływie różnych dziedzin przemysłu na klimat, zacząłem dostrzegać wpływ mody na pogłębianie kryzysu klimatycznego. I tak wchodząc głębiej w temat „fast fashion” zobaczyłem, jak ogromny ma wpływ na środowisko.

Jak działa „szybka moda”? Zanim ubranie trafi do nas, przebywa długą drogę. Wszystko zaczyna się w pracowniach modowych gigantów w Londynie, Paryżu, ale także np. Gdańsku, gdzie siedzibę ma polska firma odzieżowa LPP (należą do niej znane marki, np. Reserved, Cropp, Sinsay). Produkują one ubrania w krajach takich jak Bangladesz, gdzie koszty produkcji są najniższe ze względu na brak regulacji środowiskowych i płacę minimalną, która jest tak niska, że nie pozwala pracownikom na wyżywienie swoich rodzin. Co dzieje się dalej? Gotowe ubrania płyną zazwyczaj statkami do centrów dystrybucji, tzw. „hubów”, z których dopiero dostarcza się je do sklepów, gdzie możemy kupić sobie t-shirt za 20 zł. Założymy go kilka razy, a potem wyrzucimy albo – skuszeni reklamą lub promocją – kupimy coś, czego nigdy nie założymy. I o tym wszystkim za mało się mówi, a moda wciąż większości z nas kojarzy się przede wszystkim z błyszczącymi centrami handlowymi. Jednak modowa rzeczywistość jest zgoła inna, choćby dlatego że tylko 1% ubrań poddaje się recyklingowi.

IO: A co chciałbyś zmienić w tym obszarze?

KB: Największa odpowiedzialność za tysiące ton ubrań, które kończą na wysypiskach śmieci leży po stronie marek i rządów, więc to od nich powinniśmy domagać się systemowej zmiany. Jednak jako pojedyncze osoby też możemy mieć ogromny wpływ. W skali jednostki, najlepsze, co możemy zrobić, to kupować jak najmniej ubrań także używanych. To dlatego, że nawet kiedy



kupujemy z second-handu, są to często rzeczy, których nie potrzebujemy. A więc tym samym generujemy nadmierną konsumpcję, która nigdy nie będzie dobra dla planety. Najważniejsze jest, abyśmy nosili nasze ubrania jak najdłużej, dbali o nie, a jeżeli coś się nam zepsuje, np. zamek w ulubionej bluzie, naprawiali. Naprawa jest najlepszym modowym wyborem, jaki możemy podjąć, bo przedłużając życie naszych ubrań nie tylko nie przyczyniamy się do produkcji kolejnej sztuki odzieży z całym jej środowiskowym kosztem, ale też wspieramy lokalnych rzemieślników. Aby sprawić, że naprawa będzie bardziej dostępna, rozpocząłem pracę nad Mendly – platformą internetową, która łączy osoby przerabiające i naprawiające ubrania z ich klientami.

IO: Co jest najważniejsze w Twoim pomysle?

KB: Mendly miało za zadanie jak najbardziej uprościć cały proces naprawy i przenieść go do Internetu. A wszystko dokładnie po to, aby coraz więcej z nas naprawiało swoje ubrania. Najważniejsze nie jest to, abyśmy naprawiali przez Mendly – chodzi o tę ideę naprawy i pokazanie nam wszystkim, że da się i że warto naprawiać. I że może to być fajne! Na przykład, zamiast wyrzucać starą kurtkę jeansową, możemy ją przerobić, a więc np. namalować na niej logo ulubionego zespołu czy zrobić z niej kamizelkę. Ogranicza nas tylko nasza własna wyobraźnia i dostępność specjalistów, których coraz więcej możemy znaleźć w Internecie.

IO: Kiedy i w jaki sposób zainteresowałeś się ochroną klimatu?

KB: Wszystko zaczęło się w domu. Rodzice od zawsze uczyli mnie otwartości i zaszczepili we mnie ciekawość świata, która sprawiła, że już od szkoły podstawowej ten temat jest dla mnie ważny. Do tego od zawsze uwielbiam naturę i bycie blisko niej – każdego roku chodzę po górach z rodzicami, przez kilka lat byłem harcerzem, więc wpływ globalnego ocieplenia na przyrodę, choćby wymieranie gatunków, niepokoi mnie od dawna. Cały czas poszerzam swoją wiedzę na temat kryzysu klimatycznego i jego wpływu na nasze życie, który już teraz odczuwamy w Polsce w postaci fali upałów latem czy niemal bezśnieżnych zim. Ale dopiero po jakimś czasie zacząłem „łączyć kropki” i zrozumiałem, że nie tylko loty samolotem, ale też nadmierna konsumpcja – to



wszystko powiązane jest z kryzysem klimatycznym. Zacząłem więc zmianę od siebie: prawie nie kupuję ubrań, nie jem mięsa, pakuję drugie śniadanie do szkoły tylko w wielorazowe pudełka. Co jeszcze można zrobić? Bardzo potrzebujemy zmian systemowych, które dojdą do skutku wyłącznie, kiedy będziemy działać. I wcale nie ogranicza nas wiek. Wierzę, że my młodzi, mamy siłę, żeby zmieniać świat, wzywając do zmian i sami będąc ich przykładem. Skoro politycy ignorują kryzysy, z którymi musimy się mierzyć, to powinniśmy wziąć sprawy w swoje ręce. Nie możemy dłużej czekać.

IO: Jak najlepiej dotrzeć do młodych z rzetelną wiedzą o klimacie?

KB: W ukazywaniu młodym skali kryzysu klimatycznego, ale też rozwiązań, moim zdaniem najważniejsi są ludzie. Kluczowe jest, żeby były to osoby, które rozumieją naukę stojącą za klimatem, ale też umieją przekazywać swoją wiedzę w zrozumiały i rzetelny sposób. I świetnie, żeby były to młode osoby, bo im łatwiej trafić do swoich rówieśników, np. w mediach społecznościowych. Dlatego jestem aktywistą Inicjatywy Wschód, czyli grupy odważnych młodych osób, w której działamy na rzecz sprawiedliwych prośrodowiskowych polityk i staramy się przybliżyć nam wszystkim temat kryzysu klimatycznego. Robimy to nie tylko na Instagramie, Facebooku i TikToku Wschodu, mediach dostępnych zwłaszcza dla młodych, ale też w mediach tradycyjnych. Osoby ze Wschodu, na przykład Dominika Lasota i Wiktoria Jędruszkowiak, robią to nie w sposób „wchodzący ludziom do domu albo do talerza”, ale bardzo angażujący i „do ludzi”. Cieszę się, że mamy coraz więcej takich głosów, które nie są typowo naukowe, tylko bardziej dostępne dla nas wszystkich. Sam staram się jak najwięcej pisać i mówić o kryzysie klimatycznym także na moich własnych profilach.

IO: Czy masz poczucie, że szkoła pełni ważną rolę w edukacji klimatycznej?

KB: Zdecydowanie powinna, ale rzeczywistość jest zupełnie inna. W obecnej podstawie programowej wiedza o klimacie jest rozproszona po różnych przedmiotach: geografii, chemii czy biologii i niepełna. Choć powiedzieć



„niepełna”, to jak nic nie powiedzieć. W polskiej szkole nie mówi się nam o tym, że kryzys klimatyczny w ogóle istnieje, przez co młode osoby, które wpływ tego kryzysu odczuwają już teraz i będą odczuwać w przyszłości, często nie są świadome skali problemu. To sprawia, że obecnie oddolna edukacja klimatyczna jest jedyną drogą do rzetelnej wiedzy w tej kwestii. Temat kryzysu klimatycznego powinien być jednym z kluczowych w podstawie programowej, bo to najważniejszy problem, przed jakim kiedykolwiek staliśmy jako ludzkość. A tylko kiedy jako społeczeństwo zrozumiemy jego skalę, będziemy mogli domagać się zmian i wdrażać odpowiedzialne polityki, które pozwolą nam z nim walczyć.

IO: A czy w kontekście rozwiązań, słyszałeś o czymś takim jak „degrowth”, czyli „postwzrost”?

KB: Tak się składa, że nawet pisałem o tym esej na konkurs! Postwzrost to koncepcja ekonomiczna i ruch społeczny, który postuluje rezygnację ze wzrostu gospodarczego w tej formie, jaką znamy. A wszystko nie tylko po to, aby ograniczyć kryzys klimatyczny i globalne zużycie zasobów, ale przede wszystkim sprawiedliwiej je dzielić. Uważam, że to jedyny sposób, żeby uratować naszą planetę. Wszystkie magiczne technologie czy sztuczki księgowe, które rzekomo sprawiają, że zatrzymamy kryzys klimatyczny i będziemy mogli dalej robić „biznes jak zwykle”, to zwykle oszustwo. Bo to właśnie przez nadmierną produkcję i konsumpcję, uzależnienie od paliw kopalnych i pogoń za wzrostem PKB (produkt krajowy brutto), musimy się mierzyć z kryzysem klimatycznym. Powinniśmy zastanowić się nad tym, co naprawdę jest dla nas ważne – niczym nieograniczone zyski korporacji czy powszechny dobrobyt obywateli i obywaterek. Myślę, że powinniśmy tak zmienić cele naszej gospodarki, żeby nie kreowała co roku tylko większego zysku dla 1% najbogatszych, ale żeby podnosiła standardy życia, edukacji i opieki zdrowotnej dla wszystkich obywateli w sprawiedliwy sposób.

IO: Dziękuję za rozmowę.



CZY WIESZ, ŻE...

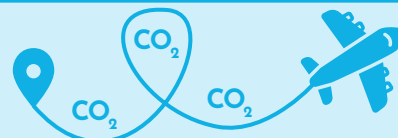
Kosztowny T-shirt

Uprawa bawełny wymaga ogromnych ilości wody oraz więcej pestycydów niż jakakolwiek inna uprawa na świecie. Do wyprodukowania przeciętnej koszulki zużywa się 2700 litrów wody, a jej ślad węglowy wynosi 7 kg CO₂e.



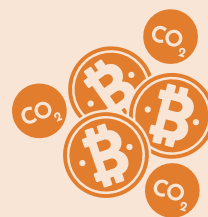
Ślady na niebie

Ślad węglowy podróży lotniczej z Poznania do Sydney w Australii i z powrotem wynosi aż 1100 kg CO₂.



W kopalni kryptowalut

Według badań Banku Centralnego Niderlandów, pojedyncza transakcja z wykorzystaniem kryptowalut, takich jak bitcoin, wiąże się z emisją ok. 40 kg CO₂. Przeciętne gospodarstwo domowe emituje taką samą ilość CO₂ przez trzy tygodnie.



Rys. 5 Ciekawostki.

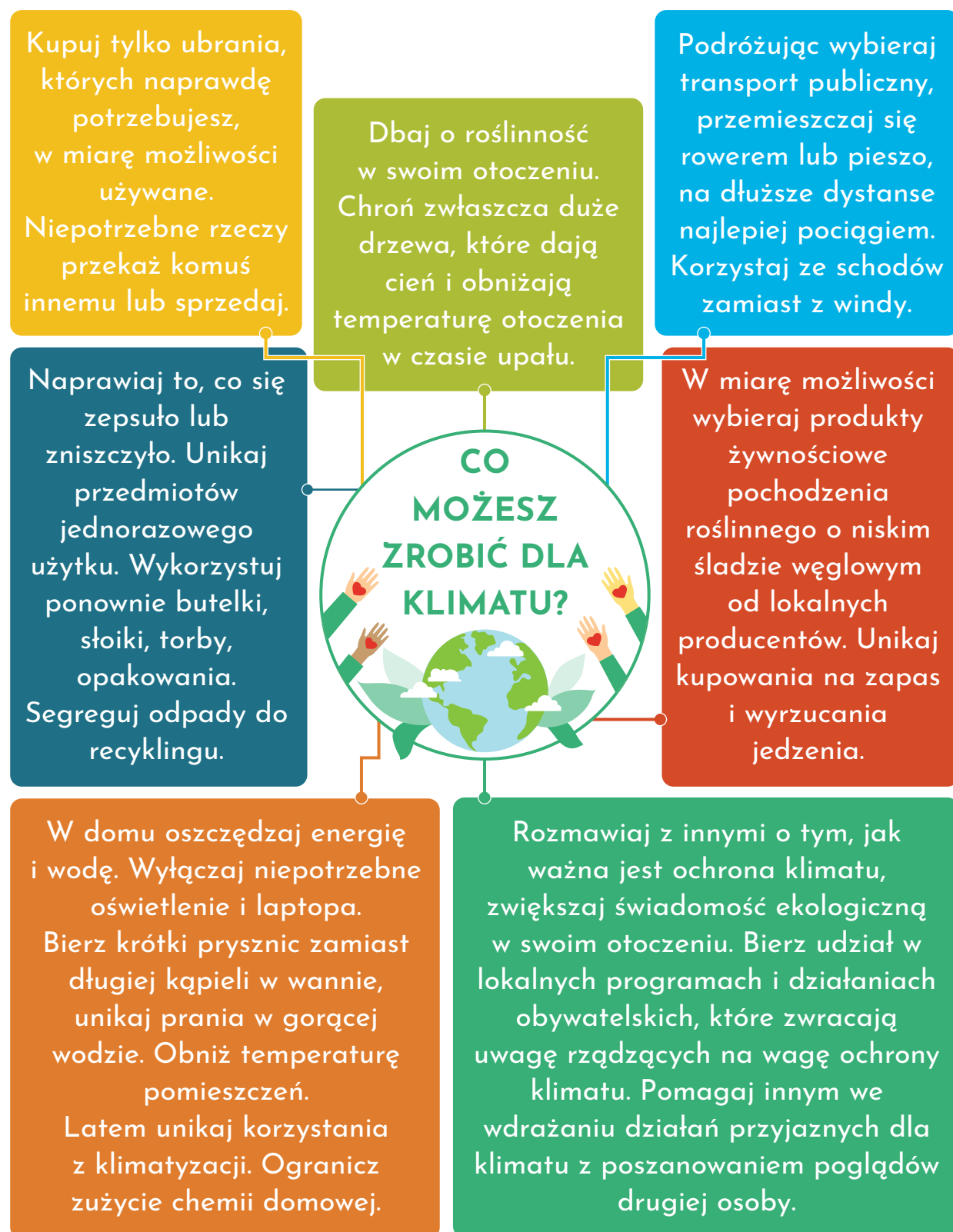
SPRAWDŹ TO SAM!

Wyobraź sobie, że wybierasz się do innego miasta w Polsce lub w Europie na kilkudniową wycieczkę. Korzystając z kalkulatora śladu węglowego dostępnego w Internecie (np. Carbon Calculator⁴), możesz obliczyć ślad węglowy swojej wycieczki dla kilku różnych opcji dojazdu, np. samochodem, pociągiem lub samolotem. Zastanów się, która opcja byłaby najbardziej optymalna pod względem emisji CO₂?

Rozumiejąc nasz ślad węglowy i dokonując świadomych wyborów, nie tylko przyczyniamy się do lepszej kondycji planety, ale także przygotowujemy grunt pod zbiorowy wysiłek na rzecz zarządzania środowiskiem, które przyniesie sprawiedliwe zmiany i korzyści dla społeczności lokalnych. Pamiętajmy, że we wszystkich działaniach najważniejszy jest człowiek, a przyjazne relacje tworzą dobry klimat dla klimatu! A na jakich działaniach powinniśmy się skupić, pokazuje infografika (**Rys. 6**).

⁴ <https://www.carbonfootprint.com/calculator.aspx>





Rys. 6 Co możesz zrobić dla dobra klimatu.



Jeśli chcesz poszerzyć jeszcze bardziej swoją wiedzę, to zachęcam Cię do zapoznania z następującymi stronami:

- Climate Change – NASA Science, <https://science.nasa.gov/climate-change>.
- Global Carbon Project, <https://www.globalcarbonproject.org/>.
- The Intergovernmental Panel on Climate Change, <https://www.ipcc.ch>.
- Global Monitoring Laboratory, <https://gml.noaa.gov/>.

Po przeczytaniu tego rozdziału:

- ✓ *Potrafisz wyjaśnić, czym jest ślad węglowy i podać przykłady emisji bezpośrednich i pośrednich z nim związanych.*
- ✓ *Wiesz już jakie produkty żywnościowe mają największy, a jakie najmniejszy ślad węglowy.*
- ✓ *Orientujesz się, w jaki sposób zmiana naszych nawyków związanych z zakupem i użytkowaniem ubrań może przyczynić się do redukcji negatywnego wpływu mody na środowisko. Potrafisz podać przykłady działań, które mogą pomóc w osiągnięciu tego celu.*
- ✓ *Masz wiedzę, dlaczego niektóre środki transportu, np. tramwaje lub kolej, są bardziej korzystne dla środowiska w porównaniu do innych środków transportu.*



PODSUMOWANIE

Po przeczytaniu tego kompendium już wiesz, że ilość CO_2 w atmosferze rośnie powodując wzrost temperatury na Ziemi, czego przyczyną jest działalność człowieka. Jest to tzw. konsensus naukowy, czyli ogólnie przyjęte stanowisko środowiska naukowego specjalizującego się w danym obszarze. Oczywiście historyczne zmiany klimatu miały przyczyny naturalne, takie jak na przykład periodyczne zmiany parametrów orbity ziemskiej (cykle Milankowicia), ale wiemy również, że aktualnie obserwowana przez nas zmiana z tych cykli nie wynika. Trudno dokładnie przewidzieć, jak bardzo ociepli się klimat Ziemi w ciągu kolejnych 100 lat, przede wszystkim dlatego, że nie wiemy, ile gazów cieplarnianych wyemitujemy w tym czasie i jakie będą dokładne skutki takich zjawisk, jak np. emisje metanu związane z rozmarzaniem wiecznej zmarzliny. Warto jednak pamiętać, że mamy modele numeryczne umożliwiające stworzenie bardzo prawdopodobnych scenariuszy, które są przygotowywane na podstawie analizy zachowania różnych parametrów środowiskowych na przestrzeni wielu lat.

W Specjalnym Raporcie Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu z 2018 r. przedstawiono szereg możliwych scenariuszy emisji CO_2 , których realizacja utrzymałaby globalne ocieplenie klimatu Ziemi poniżej progu $1,5^\circ\text{C}$, z prawdopodobieństwem przynajmniej 50%, pozwalając tym samym na uniknięcie/zmniejszenie jego katastrofalnych skutków¹. Wspólną cechą tych scenariuszy jest ograniczenie globalnych emisji CO_2 netto do 20 Gt CO_2 do 2030 r., a w połowie obecnego stulecia do 0 Gt CO_2 , przy równoczesnych głębokich redukcjach emisji innych gazów cieplarnianych. Oznacza to redukcję emisji CO_2 o ok. 55% do 2030 r. względem emisji z 2022 r. (37,15 Gt CO_2).

¹ <https://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/streszczenie-specjalnego-raportu-ipcc-dotyczacego-globalnego-ocieplenia-klimatu-o-1-5c-cz-c-325>



Przy czym zerowa emisja CO₂ netto oznacza sytuację, w której emisje gazów cieplarnianych generowane przez daną jednostkę (np. kraj) są równoważone przez jej działania mające na celu redukcję czy usuwanie z atmosfery gazów cieplarnianych.

Podjęcie działań w celu realizacji powyższych planów niejednokrotnie wiąże się z rozwiązywaniem złożonych i wieloaspektowych problemów zarówno technologicznych, jak i przede wszystkim społecznych. Ludzkość, a w szczególności naukowcy, potrafią rozwiązywać globalne problemy, jak np. odbyło się to w przypadku zagrożeń związanych z dziurą ozonową, która wciąż istnieje, ale przestała rosnąć. Obecny w stratosferze ozon (gaz składający się z trzech atomów tlenu) tworzy warstwę chroniącą nas przed promieniowaniem ultrafioletowym. W wyniku badań naukowych oceniono, że niszczący wpływ na warstwę ozonową mają freony. To głównie w wyniku ich emisji do atmosfery dochodzi do powstania dziury ozonowej. W związku z tym państwa zrzeszone w Organizacji Narodów Zjednoczonych uchwaliły Konwencję Wiedeńską, a potem Protokół Montrealski o ochronie warstwy ozonowej. Dokumenty zostały podpisane przez wszystkie kraje świata, które w ten sposób zobowiązały się do stopniowego wycofania z produkcji substancji niszczących ozon. Podjęte działania ostatecznie doprowadziły do spadku koncentracji szkodliwych substancji w atmosferze Ziemi i zatrzymały wzrost dziury ozonowej².

Aktualnie mamy już bardzo wiele innowacyjnych rozwiązań technologicznych, których wykorzystanie może pomóc ograniczyć skutki naszej destrukcyjnej działalności. W poszczególnych rozdziałach mogłeś przeczytać o niektórych z nich, np. o niskoemisyjnych źródłach energii czy sposobach jej magazynowania, choć oczywiście tematyka ta jest znacznie obszerniejsza. Należy też pamiętać, że zapobieganie zmianom klimatu jest znacznie trudniejsze i bardziej skomplikowane niż to było w przypadku dziury ozonowej.

² <https://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/dziura-ozonowa-historia-sukcesu-365>



Szczególną i czasem niełatwą kwestią jest uzyskanie zgody społecznej na wdrażanie proekologicznych rozwiązań. Ludzie bowiem z natury boją się zmian i niewiadomych, a jeśli dodatkowo nawet pozornie coś ogranicza ich komfort, to możemy potencjalnie napotykać na duży opór ze strony społeczeństwa. Nie wszystkie proekologiczne działania polityków i różnych instytucji są także od początku adekwatne do zaistniałej sytuacji. Niekiedy zdarza się, że początkowe podejście musi zostać zmodyfikowane. Ważne, abyśmy wykazali się otwartością na rozmowy i słuchali wzajemnie swoich racji i dzięki temu zmiany na lepsze będą możliwe.

Zapamiętaj drogi Czytelniku! Dbanie o przyrodę jest dbaniem także o siebie, swoich bliskich i o zdrowsze życie. Przyroda w lepszej kondycji daje większe szanse nam samym. Wyginięcie całej ludzkości spowodowane naszymi działaniami jest mało prawdopodobne, ale jeśli nie podejmiemy odpowiednich działań, to będziemy świadkami końca obecnego modelu naszej cywilizacji. Ponadto możemy doprowadzić do kolejnego masowego wymierania innych gatunków.

Cokolwiek czytasz czy czegokolwiek słuchasz, staraj się zawsze wysnuwać własne dobrze przemyślane wnioski. Pomimo, że pojedynczy człowiek nie ma na wszystko wpływu, to wciąż ma duże pole do działania i może zadbać o świat wokół siebie. Natomiast chcąc osiągnąć globalne zmiany, musimy zacząć ze sobą współpracować.



Niniejsze *Kompendium wiedzy o energii i klimacie* jest wynikiem pracy zbiorowej naukowców Instytutu Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk zaangażowanych w popularyzację nauki i szerzenie aktualnego stanu wiedzy na temat m.in. technologii związanych z odnawialnymi źródłami energii.

Kompendium dedykowane jest głównie uczniom 7 i 8 klas szkół podstawowych oraz szkół średnich, ale do jego przeczytania zachęcamy każdą osobę zainteresowaną tematyką wpływu człowieka na środowisko. Opracowanie to zostało przygotowane zarówno do samodzielnej lektury dla uczniów, jak również jako wsparcie dla nauczycieli, którzy poszukują ciekawych treści i sprawdzonych źródeł informacji, pozwalających urozmaicić lekcje, jak i podnieść świadomość ekologiczną wśród uczniów.

ISBN: 978-83-968462-4-2



NARODOWY FUNDUSZ
OCHRONY ŚRODOWISKA
i GOSPODARKI WODNEJ



Ministerstwo
Klimatu i Środowiska

