



JAKUB WIECH
ENERGETYKA

po prostu

znak

JAKUB WIECH

(ur. 1992) – dziennikarz, analityk, komentator.

Absolwent prawa na Uniwersytecie

Warszawskim. Redaktor naczelny portalu

Energetyka24.com, gdzie pisze o bezpieczeństwie energetycznym i ochronie klimatu.

Autor podcastu „Elektryfikacja”. Współpra-

cownik „Gazety Wyborczej”. Przygotowuje

doktorat o wpływie prawa i instytucji UE na bezpieczeństwo rynku gazu w Polsce w Szko-

le Doktorskiej Nauk Społecznych UW. Autor

książek *Energiewende. Nowe niemieckie*

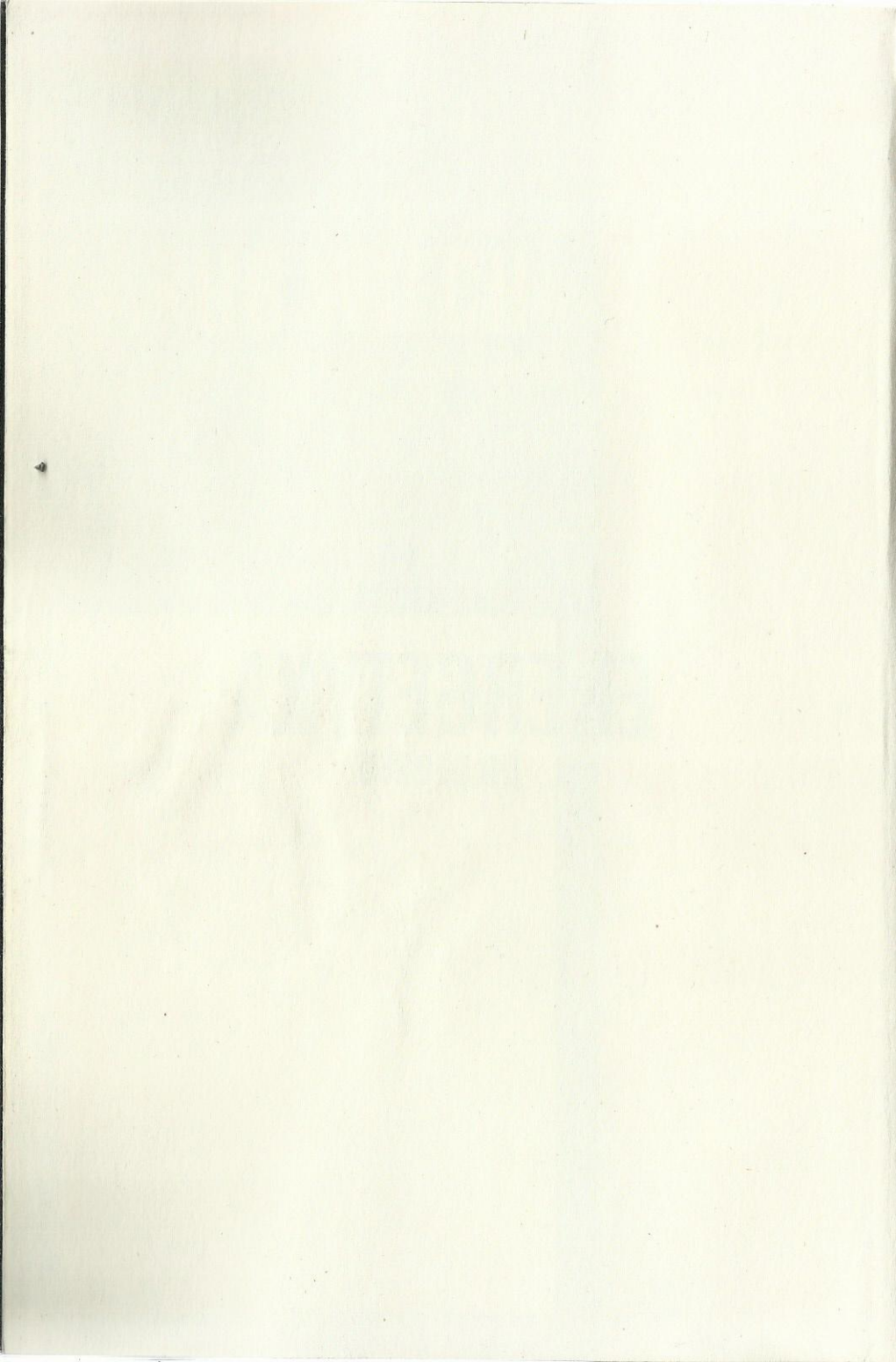
imperium (2019) oraz *Globalne ocieplenie.*

Podręcznik dla Zielonej Prawicy (2020).

Autor popularnego na Instagramie konta

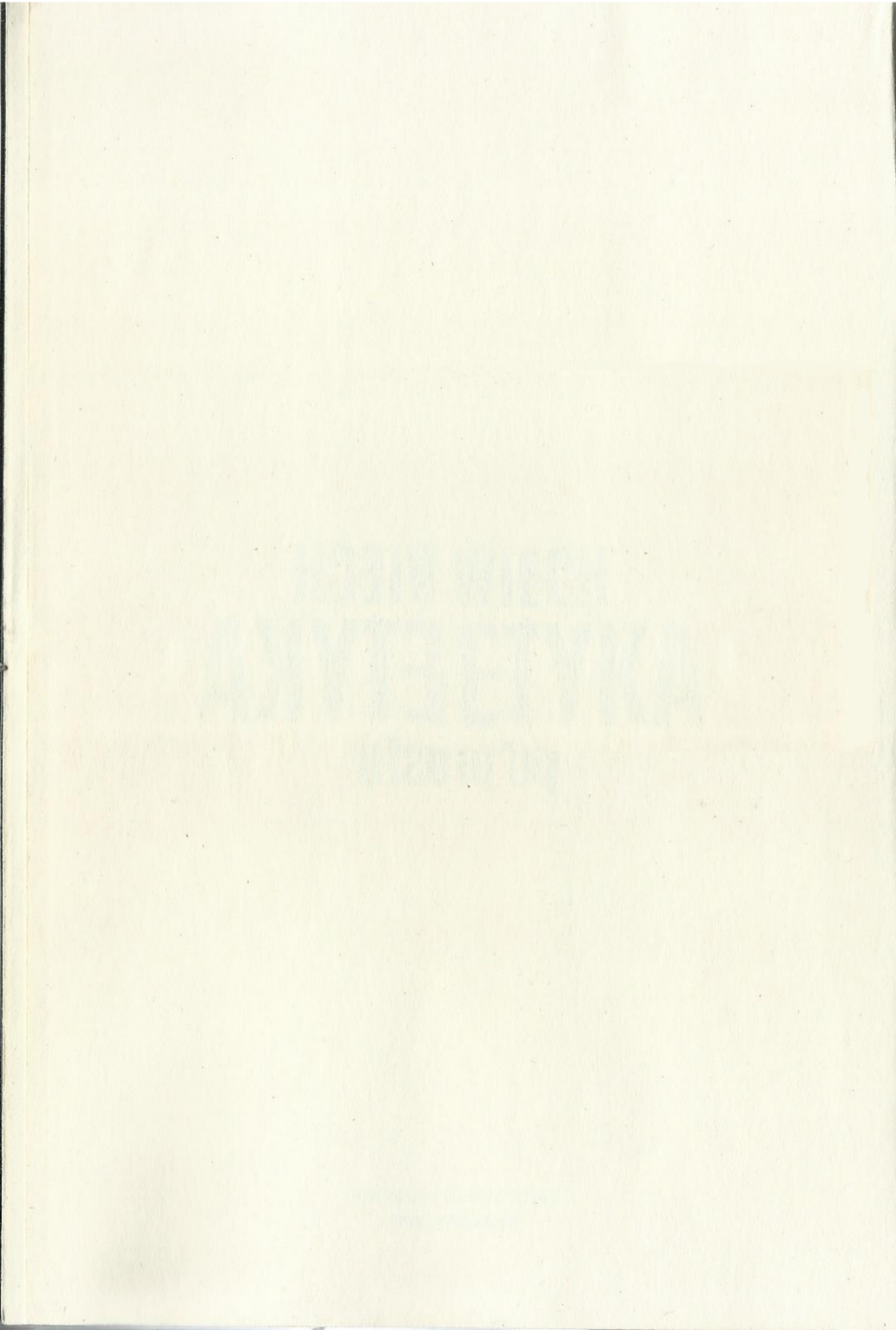
@wiechography.

ENERGETYKA



JAKUB WIECH
ENERGETYKA
po prostu

WYDAWNICTWO ZNAK
KRAKÓW 2023



Mojej Žonie Magdalenie

Dlaczego polski rząd kurczowo trzyma się węgla? Skąd niechęć do ograniczania jego użycia?

Polska już w przeszłości miała możliwości gospodarcze i technologiczne, by znacznie obniżyć udział węgla w energetyce.

Niestety, nie zrobiono tego – jednym z powodów jest to, że każda z dotychczasowych ekip rządzących nad Wisłą chciała utrzymać względnie dobre relacje z górnikami, a przede wszystkim z górniczymi związkowcami, czyli bardzo dobrze zorganizowaną (choć coraz mniej liczną) grupą społeczną, postrzeganą jako zbiór głów potrzebnych w czasie wyborów lub... potencjalny chuligan polityczny mogący wzniecić spektakularne protesty.



WSTĘP – ENERGIA, CZYLI WSZYSTKO

*„Snując się, niezmiernie radzi z siebie,
po naszym globie, szczerze jesteście
przekonani o swej władzy nad materią”.*

Herbert George Wells, *Wojna światów*

W czasie mojej pracy dziennikarskiej kilkakrotnie zetknąłem się z pytaniem: „Skąd wzięło się u ciebie zainteresowanie energetyką?”. Słyszając je, wracam myślami do momentu, w którym po raz pierwszy przeczytałem książkę *Wojna światów* brytyjskiego pisarza Herberta George’a Wellsa. To właśnie ta opublikowana w 1898 roku powieść rozbudziła we mnie fascynację energią – ale nie dlatego, że energetyka była jej ważnym elementem; wręcz przeciwnie. W tej wciągającej lekturze Wells zarysował wizję ataku Marsjan na Ziemię. Przybysze z Czerwonej Planety docierają do Anglii w wystrzelonych z powierzchni Marsa

cyldrycznych pojazdach, a następnie konstruują potężne maszyny wojenne w formie olbrzymich trójnogów uzbrojonych w tak zwany snop gorąca – coś w rodzaju śmiertelnośnego lasera. Za pomocą tych urządzeń kosmici łamią opór brytyjskiej armii i maszerują na Londyn, aby rzucić na kolana największe ówczesne imperium. Opowieść tak bardzo mną poruszyła, że długie godziny mojego dzieciństwa poświęciłem na rozmyślanie o różnych aspektach inwazji Marsjan. I podczas takich rozważań zadałem sobie pytanie: „Jak oni zasilali te wszystkie maszyny?”. Szukając odpowiedzi, zacząłem analizować znane człowiekowi sposoby pozyskiwania różnych rodzajów energii; uczyłem się o poszczególnych źródłach i technologiach, o korzyściach z nich płynących i problemach z nimi związanych, następnie czytałem o perspektywach rewolucji energetycznej. W taki oto sposób stworzona przez Wellsa fikcja stała się przyczynkiem do rozbudzenia zainteresowania czy wręcz rozwoju autentycznej pasji, którą realizuję do dziś. Energia (oraz związane z nią systemy i technologie) to prawdziwie fascynująca sfera – zachwyca tym, jak głęboko przenika wszystkie nasze codzienne aktywności. Można pokusić się także o stwierdzenie, że to właśnie energia nadaje światu taki czy inny sens: ten sam pocisk pistoletu może być całkowicie niegroźnym kawałkiem metalu lub

śmiercionośnym narzędziem – wszystko zależy od energii, którą mu nadamy. Nie bez powodu bogowie Olimpu tak surowo ukarali Prometeusza, który skradł im ogień, żeby dać go ludziom. Była to *de facto* kradzież potężnego sekretu – tajemnicy energii oraz jej wykorzystania.

W niniejszej książce będę się starał dokładnie wyjaśnić, czemu świat energii jest tak zachwycający. Wy tłumaczę, czym jest energia i jak człowiek nauczył się z niej korzystać. Opiszę podstawowe prawa, które tworzą granice energetycznego królestwa. Pokażę również, jak ludzkość zbudowała wokół energii potężną maszynę polityczno-gospodarczą, która z jednej strony wydobyla miliardy osób z nędzy, a z drugiej – zdewastowała system klimatyczny naszej planety. Będzie to także opowieść o swoistej kulturze, która wyewoluowała wokół energii – i cały czas się rozwija. Patrząc na współczesny świat, można się zastanowić, kto bardziej wpłynął na kształt rzeczywistości: człowiek czy źródła energii, z których korzysta.

Dlaczego powstała ta książka, zdradzę w zakończeniu; teraz napiszę jedynie, że powinna ona być traktowana jako coś w rodzaju przystępniejszego podręcznika, który wyposaży odbiorcę w najważniejszą wiedzę dotyczącą funkcjonowania sektora energetycznego. Pewne rzeczy zostaną tu przedstawione w sposób uproszczony, za co

z góry przepraszam specjalistów zajmujących się tą dziedziną. Nie jest to jednak książka skierowana do nich, tylko do znacznie szerszego grona czytelników. Natomiast w ramach rekompensaty wszędzie tam, gdzie poszedłem nieco na skróty, zostawiam przypisy odsyłające do innych pozycji, którymi posiłkowałem się przy pracy nad niniejszą publikacją, a które w znacznie szerszym zakresie omawiają określone zagadnienia.

Pozostałym czytelnikom również polecam zagłębienie do przypisów, gdzie znajdują się nie tylko odniesienia do lektur dodatkowych, ale też dłuższe omówienia wybranych kwestii, które - dla jasności wyводу - zdecydowałem się wyjąć z tekstu głównego.

Mam nadzieję, że książka ta spełni pokładane w niej nadzieje - stanie się jednym z kamieni milowych na drodze do diametralnej poprawy świadomości energetycznej w Polsce oraz do materialnej zmiany w polskim sektorze energetycznym.

CZYM JEST ENERGIA?

Częstym podczas spotkań z czytelnikami pytam: „Czy wiecie, ile płacie za kilowatogodzinę?”. Dla lepszego

efektu pytanie to poprzedzam krótką rozmową o cenach podstawowych produktów spożywczych, podczas której wiele osób z widowni wylicza z dokładnością co do grosza, ile zapłaciło za butelkę wody, paczkę czipsów czy batonika. Jednakże tylko nieliczne znają dokładne stawki za kilowatogodzinę. Dosłownie pojedyncze osoby potrafią podać cenę energii elektrycznej – a przecież jest ona takim samym towarem jak butelka wody. Mało tego: współczesny mieszkaniec Polski zużywa dziennie znacznie więcej kilowatogodzin niż butelek wody. Dlaczego zatem wielu nie ma podstawowego rozeznania w zakresie energetyki? Nie chodzi tu już nawet o sam koszt kilowatogodziny – społeczna świadomość nie obejmuje kluczowych aspektów dotyczących funkcjonowania systemu energetycznego. Ludzie nie wiedzą, skąd bierze się energia elektryczna, która zasila ich domy czy mieszkania, ani jak wytwarzane jest ciepło, które ogrzewa w nich kaloryfery. Nie potrafią odpowiedzieć na pytanie, ile gazu zużywa się w ich kraju ani gdzie wydobywa ropę naftową, która służy do produkcji paliw spalanych w silnikach ich samochodów. Brak wiedzy i świadomości w zakresie energetyki to jednak nie tylko przyczynek do dyskusji o poziomie szkolnictwa czy potencjalny kłopot podczas rozwiązywania krzyżówki lub w trakcie seansu teleturnieju.

To także istotna luka w procesie decyzyjnym, zwłaszcza zaś na płaszczyźnie decyzji politycznych. Jeśli nie uświadamiamy sobie istnienia określonego ryzyka, nie jesteśmy w stanie podejmować działań ukierunkowanych na jego ograniczenie ani – co jeszcze istotniejsze – na wyeliminowanie go. Jestem zdania, że gdyby od kilkunastu lat budowano powszechniejszą pogłębioną świadomość dotycząca kwestii energetycznych, dałoby się uniknąć wielu aktualnych problemów Polski. Jako społeczeństwo bylibyśmy bowiem w stanie wyrzucić wcześniej odpowiednio mocną presję na politykach, żeby przymusić ich do wdrożenia i realizowania programu transformacji energetycznej i transportowej, przez co ogromne ciężary spowodowane unijną polityką klimatyczną byłyby lżejsze lub nie byłoby ich wcale.

Niestety, Polska jest najbardziej zapóźnionym pod względem transformacji energetycznej krajem Unii Europejskiej (UE). Udział węgla w polskim miksie generacyjnym energii elektrycznej sięga 70%, co jest najgorszym wynikiem spośród wszystkich 27 państw członkowskich UE. Dla porównania, w Czechach wskaźnik ten wyniósł w 2022 roku 42%, w Rumunii 19%, a na Węgrzech 9%. Intensywność emisji z polskiej elektroenergetyki wynosi około 750 gramów dwutlenku węgla (CO₂) na

kilowatogodzinę, co jest niemal trzykrotnością średniej unijnej. Innymi słowy, żeby wygenerować 1 kWh w polskim systemie energetycznym, trzeba wyrzucić do atmosfery 750 gramów CO₂. We Francji emisja zmniejsza się czasami do 18 gramów, przy średniej rocznej wynoszącej około 60 g/kWh. UE (ale też na przykład USA czy Chiny) zamierza coraz bardziej zaostrzać politykę klimatyczną (i stosować kary finansowe za emitowanie gazów cieplarnianych do atmosfery), a jej sensem jest budowa nowego paradygmatu gospodarczego, który będzie określał i uwzględniał koszty emisji w rachunku ekonomicznym. Tymczasem energetyka w naszym kraju opiera się na elektrowniach budowanych za czasów Edwarda Gierka. Co więcej, aż 70 bloków węglowych powinno być już wyłączonych i zastąpionych nowymi mocami, gdyż urządzenia te dobiły do granic swojego okresu projektowego (średnia wieku polskich jednostek wytwórczych zasilanych węglem wynosi około 50 lat). Polska emituje bardzo dużo dwutlenku węgla jak na „rozmiary” swojej gospodarki (między innymi dlatego ta staje się coraz mniej konkurencyjna), a my sami mamy coraz wyższe rachunki za energię, które będą nadal ulegać podwyższeniu dopóty, dopóki nasza energetyka będzie wysoce intensywna emisyjnie. Tego wszystkiego można było

uniknąć, gdyby odpowiednio wcześniej podjęto szeroko zakrojone działania transformacyjne. Tak się jednak nie stało, bo potocznie mówiąc, zabrakło świadomości. Książka ta ma za zadanie zmienić ten stan rzeczy. Po jej przeczytaniu czytelnik powinien orientować się w zawiłościach polskiej, europejskiej i światowej energetyki.

Żeby to zrobić, należy zacząć od uporządkowania pewnych podstawowych terminów. Można zacząć od kluczowego pytania: „Czym w zasadzie jest energia?”. Sięgając po język fizyki, należy odpowiedzieć, że jest to wielkość fizyczna, którą dysponuje dane ciało, a która wyraża jego zdolność do wykonania pracy. Istnieje wiele różnych rodzajów energii. Na przykład, gdy człowiek kopie piłkę, to energia ruchu jego nogi przekazywana jest na piłkę, sprawiając, że ta się porusza. Ten rodzaj energii nazywany jest energią kinetyczną. Z kolei kameień umieszczony w komorze napiętej procy będzie dysponował określoną energią potencjalną, czyli taką, która wynika z jego położenia lub stanu. Energia może też przybierać różne formy. Występuje na przykład w postaci ciepła, dźwięku, prądu elektrycznego i reakcji chemicznych. W dalszych rozdziałach omówię te rodzaje i formy energii, które człowiek wykorzystuje na co dzień w swojej gospodarce.

Na stronach niniejszej publikacji przewijać będzie się kilka terminów, które brzmią podobnie, ale nie oznaczają tego samego. Kiedy w tekście pojawi się określenie „energia”, to będzie ono oznaczać wielkość fizyczną, przybierającą różne postaci (na przykład energii cieplnej, energii kinetycznej, energii świetlnej). Z kolei słowo „energetyka” określa gałąź nauki i gospodarki, zajmującą się takimi sposobami przetwarzania energii, które umożliwiają skorzystanie z niej człowiekowi. Można obrazowo powiedzieć, że energia jest źródłem, które chce uregulować i wykorzystać do swoich potrzeb energetyka. Z energetyki zostanie wyodrębniona elektroenergetyka, czyli sektor zajmujący się wytwarzaniem, przesyłaniem, dystrybuowaniem oraz magazynowaniem energii elektrycznej.

Książka ta, skierowana do szerokiej grupy odbiorców, posługuje się aparatem pojęciowym i wiedzą z dziedziny fizyki na dość podstawowym poziomie, a jej zawartość przedstawia w opisowy, nieco uproszczony sposób. Takie podejście ma ułatwić zrozumienie wyводу tym czytelnikom, którzy na nauki ściśle patrzą z niechęcią. Niemniej jednak aby zorientować się i poruszać w świecie energii, należy przyswoić pewne kluczowe jednostki. Podstawową jednostką energetyczną w fizyce

jest dżul (J). Oznacza on pracę wykonaną przez siłę o wartości 1 niutona (N)* przy przesunięciu punktu przyłożenia siły o 1 metr w kierunku równoległym do działania tejże siły. Opis ten może się wydać dość złożony, ale zobrazuje go przykład podany przez Vaclava Smila w książce *Energy. A Beginner's Guide*: podniesienie z podłogi pomarańczy ważącej 0,1 kg i umieszczenie jej na poziomie 1 metra nad ziemią to wydatek energetyczny odpowiadający jednemu dżulowi (J). Inną jednostką odnoszącą się do energii jest kaloria (cal), która historycznie oznaczała ilość ciepła potrzebną do ogrzania 1 grama (g) wody o 1 stopień Celsjusza – 1 kaloria to około 4,185 dżula, natomiast na kartach niniejszej książki kaloria (ani też znacznie popularniejsza kilokaloria: kcal) nie będzie się pojawiać. Pojawi się natomiast równa 1 dżulowi watosekunda (1 dżul to praca 1 wata, czyli jednostki mocy, przez 1 sekundę) oraz jej wielokrotności, na przykład kilowatogodzina (kWh). Żeby zrozumieć, co one oznaczają, trzeba wyjaśnić pojęcie mocy.

Na potrzeby niniejszej publikacji można przyjąć, że moc – której jednostką jest wat (W) – to miara możliwości

* 1 N to z kolei siła, która nadaje ciału o masie 1 kg przyspieszenie 1 m/s^2 .

zamiany jednego rodzaju energii w drugi. W dyskusjach o energetyce używa się często określenia „moc zainstalowana”, co odnosi się do maksymalnej dostępnej możliwości, z jaką może generować lub pobierać energię dane urządzenie. Jak wspomniałem, wartość tę wyraża się w watach oraz jego wielokrotnościach: kilowatach (kW), megawatach (MW) i gigawatach (GW). Przykładowo, typowa przydomowa instalacja fotowoltaiczna dysponuje mocą 3,5 kW, a reaktor jądrowy trzeciej generacji mocą około 1-1,5 GW. Jednakże sama moc nie wystarczy do określenia, ile energii wytworzono. Żeby to policzyć, trzeba wiedzieć, przez jaki czas dana moc generowała energię. Dla przykładu, elektrownia o mocy 1 GW pracująca z pełną mocą wyprodukuje w ciągu 60 minut 1 gigawatogodzinę (GWh) energii elektrycznej. Jednakże sytuacje, w których dana jednostka wytwórcza wykorzystuje pełnię swojej mocy, należą do rzadkości. Dla przykładu, zależne od pogody źródła odnawialne, takie jak turbiny wiatrowe czy panele fotowoltaiczne pracują tylko wtedy, kiedy są ku temu odpowiednie warunki atmosferyczne. Z kolei elektrownie jądrowe muszą co jakiś czas przerywać pracę, żeby do reaktora zostały załadowane nowe pręty paliwowe. Aby lepiej orientować się w realnych możliwościach pracy danego źródła, branża energetyczna

stworzyła wskaźnik pozwalający to szybko zobrazować. Chodzi o tak zwany współczynnik wykorzystania mocy (ang. *capacity factor*). Oblicza się go, dzieląc liczbę jednostek energii wygenerowanej dzięki danemu źródłu przez możliwość maksymalnego uzysku w danym czasie – najczęściej, dla łatwego rachunku, przyjmuje się tu skalę roczną, zaokrąglając liczbę godzin w ciągu roku do 8800. Jeśli na przykład dane źródło o mocy 1 MW wygenerowało w ciągu roku 880 MWh energii, to jego współczynnik wykorzystania mocy wyniósł 10% (bo maksymalnie mogło wygenerować 8800 MWh). Poszczególne źródła energii charakteryzują się zróżnicowanym współczynnikiem wykorzystania swojej mocy. Patrząc na dane z USA, widać, że wskaźnik ten jest najwyższy w energetyce jądrowej (92,7%), a najniższy – w fotowoltaice (24,6%)*.

Światem energii rządzią określone prawa i zasady. Kluczowe z nich ustaliła termodynamika, czyli dziedzina fizyki, która zajmuje się badaniem przemian termicznych i energetycznych w układach. Dla rozważań przedstawionych w niniejszej książce szczególnie ważna jest pierwsza zasada termodynamiki, która mówi, że energia nie może zostać stworzona ani zniszczona, lecz jedynie przekształ-

* <https://www.energy.gov/ne/articles/what-generation-capacity> [dostęp: 11.05.2023].

cona z jednej formy w inną. Wyklucza to na przykład stworzenie *perpetuum mobile*, czyli urządzenia, które wytworzyłoby więcej energii, niż samo przyjęło. Z kolei druga zasada termodynamiki mówi między innymi, że podczas przekształcania energii z jednej formy w drugą zawsze wystąpią straty, podobnie podczas przesyłania energii z jednego miejsca do drugiego.

Patrząc na dostępne człowiekowi technologie stosowane w energetyce, których w przeważającej części używa się do produkcji energii elektrycznej*, można dojść do wniosku, że wspólnym mianownikiem prawie wszystkich tych rozwiązań jest prosta zamiana energii mechanicznej w energię elektryczną**. Dokonuje się to za pomocą generatorów, które – wykorzystując indukcję magnetyczną – niejako przesuwają ładunek elektryczny w przewodnikach. Zasada ich działania została opracowana przez angielskiego fizyka Michaela Faradaya. Cały proces wygląda następująco: w generatorze są magnesy zamocowane na ruchomym wirniku. Wokół niego znajdują się przewody lub cewka wykonane z przewodnika (zwykle jest nim miedź). Kiedy magnesy zaczynają się obracać,

* Utożsamianej powszechnie z prądem elektrycznym, czyli uporządkowanym ruchem elektronów w obwodzie elektrycznym.

** Wyjątkiem jest fotowoltaika, która zmienia energię słoneczną w energię elektryczną.

tworzą zmienne pole magnetyczne przechodzące przez przewody lub cewkę. To z kolei powoduje indukcję prądu elektrycznego – elektrony zostają wprowadzone w ruch. Następnie prąd jest przekazywany na zewnątrz generatora i przesyłany do korzystających z niego urządzeń. Warto nadmienić, że prąd elektryczny opisywany jest dwiema kluczowymi wartościami, takimi jak napięcie i natężenie. Napięcie – wyrażane w woltach (V) – to miara różnicy potencjałów elektrycznych między dwoma punktami w obwodzie. Często jest porównywane do siły, która popycha wodę przez rurę – im wyższe napięcie, tym większa siła napędowa prądu elektrycznego. Z kolei natężenie prądu elektrycznego, którego jednostką jest amper (A), można porównać do ilości wody przepływającej przez rurę w danym czasie. Określa ono liczbę ładunków elektrycznych, jakie przepływają przez przewodnik w danej jednostce czasu. W elektroenergetyce stosuje się prąd stały oraz prąd zmienny, którego rodzajem jest prąd przemienny. W tym pierwszym przypadku elektrony płyną w jednym kierunku przez obwód z niezmienną intensywnością; w drugim (a konkretnie w przypadku prądu przemiennego) elektrony zmieniają kierunek przepływu zgodnie z pewnym regularnym cyklem. W sieciach elektroenergetycznych używa się najczęściej prądu przemiennego

o częstotliwości 50 herców (Hz) lub 60 Hz. Prąd, który płynie w zwykłych domowych instalacjach elektrycznych w Polsce to prąd przemienny o napięciu 230 V o częstotliwości 50 Hz. Jest on jednofazowy – w dużym uproszczeniu oznacza to, że w gniazdku znajduje się jeden przewód pod napięciem podłączony do jednej z dziurek gniazda. W drugiej znajduje się przewód neutralny zwany też zerowym. Umożliwia on przesyłanie prądu w zamkniętym obwodzie.

Powyższe opisy powinny wystarczyć do płynnego wejścia w rozważania na temat światowej energetyki. Składają się one z analizy dziejów kluczowych źródeł energii, z jakich korzystał i korzysta człowiek. Każda z tych historii uczy czegoś innego na temat gospodarki energetycznej. Jak się bowiem okazuje, energetyka miała swoją własną ewolucję, czyli długotrwały proces rozwoju, polegający na adaptowaniu się do zmiennych warunków i potrzeb. Genialne odkrycia przeplatają się w nim z fatalnymi błędami, tworząc sumę doświadczeń, które ukształtowały współczesny sektor energetyczny. Historie te pokazują także, że energetyka przenika codzienność, choć ludzie często nie zdają sobie z tego sprawy.

Spalając węgiel, emitujemy do powietrza CO₂. Jaki jest jego wpływ na zdrowie? Czy jego obecne stężenie jest niebezpieczne?

Obecne stężenie dwutlenku węgla w atmosferze wynosi 422 cząsteczki na milion cząsteczek powietrza (ppm), choć jeszcze na początku lat 60. XX wieku wynosiło 320 ppm. Przy pułapie 1000 ppm człowiek zaczyna odczuwać dyskomfort – jest to stężenie często spotykane w zatłoczonych, dusznych pomieszczeniach. Jeśli stężenie dwutlenku węgla wzrośnie do 50 000 ppm, oddychanie staje się utrudnione, pojawiają się zaburzenia układu krążenia. Z kolei poziom 100 000 ppm grozi śmiercią.



Ile CO₂ emituje Polska?

Roczne emisja CO₂ przez Polskę wynosi ok. 300 mln ton. To mniej więcej tyle, ile średnio emitują wszystkie wulkany świata – lądowe i podwodne. Jedna polska elektrownia, Elektrownia Bełchatów, wypuszcza każdego roku do atmosfery ok. 30 mln ton dwutlenku węgla. Polska odpowiada za mniej więcej 1% światowej emisji tego gazu.



WĘGIEL

*„Możemy to równie dobrze nazwać
czarnymi diamentami. Każdy koszt to
potęga i cywilizacja”.*

Ralph Waldo Emerson

Paradoks sytuacji, w której obecnie znajduje się światowa gospodarka, polega na tym, że mimo potężnych działań na rzecz ochrony klimatu ludzie wciąż nie są w stanie skutecznie zrezygnować z podstawowego paliwa kopalnego, jakim jest węgiel. Wręcz przeciwnie: zwiększają jego zużycie. Paradoksalne jest również to, że surowiec, który przez stulecia pomagał budować dobrobyt i lepsze życie miliardów ludzi, zrodził przy okazji powszechne niebezpieczeństwo klimatyczne, które może zagrozić mieszkańcom naszego globu.

Węgiel to drugie największe – tuż po ropie – źródło energii pierwotnej na świecie, znane ludziom już od

starożytności. Warto zaznaczyć, że zbiorcza nazwa „węgiel” odnosi się do pojemnej kategorii – pod tym pojęciem ukrywa się całkiem sporo typów skał, przy czym nie wszystkie spośród nich znajdują zastosowanie w energetyce. W 2022 roku światowe zużycie węgla kamiennego pobiło rekord wszech czasów – spaliliśmy aż 8 miliardów ton tego surowca. Według analityków Międzynarodowej Agencji Energii popyt na węgiel pozostanie na tym poziomie co najmniej do roku 2025. Świadczą o tym chociażby wyniki przemysłu wydobywczego w krajach zaliczanych do trzech największych producentów węgla kamiennego: w Chinach, w Indiach oraz w Indonezji. W tej kalkulacji uwzględniono dwa główne rodzaje węgla kamiennego: węgiel energetyczny (wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej i ciepła) oraz węgiel koksowy (potrzebny na przykład w procesie produkcji stali). Do tego trzeba doliczyć także wydobycie i spalanie około 600 milionów ton węgla brunatnego, który wydobywają głównie Chiny, Niemcy i Rosja. Ten rodzaj węgla jest używany praktycznie wyłącznie w energetyce; trafia do kotłów elektrowni niedługo po wydobyciu, gdyż ze względu na wilgotność i strukturę nie nadaje się do długotrwałego składowania i przewożenia na większe odległości. Przy swoim zużyciu węgiel *en masse* jest największym pojedynczym źródłem

dwutlenku węgla spośród surowców energetycznych – z uwagi na dużą intensywność jego emisji przy spalaniu; tylko w 2022 roku odpowiadał za wprowadzenie do ziemskiej atmosfery około 15 miliardów ton CO₂. Dla przykładu, Elektrownia Bełchatów emituje rocznie około 30 milionów ton CO₂, a samochód osobowy o rocznym przebiegu 20 tysięcy kilometrów – 4-4,5 tony CO₂.

Tak istotną emisję dwutlenku węgla, czyli gazu cieplarnianego, można nazwać dodatkowym kosztem użytkowania tego surowca. Z tego właśnie względu węgiel postrzega się obecnie jako potężne zagrożenie dla stabilności ziemskiego klimatu. Pojęcie „dekarbonizacja”, używane przy okazji debat o polityce klimatycznej, odnosi się zarówno do redukcji emisji gazów cieplarnianych (przede wszystkim dwutlenku węgla), jak i do wyparcia węgla z pozycji filaru gospodarki poszczególnych państw. Dążenie do dekarbonizacji można jednak określić – parafrazując słowa kapitana Reanulta z filmu *Casablanca* – jako koniec pięknej przyjaźni. Węgiel przez całe wieki pomagał bowiem człowiekowi podwyższać poziom życia i budować dobrobyt społeczeństw. To węgiel zasilił rewolucję przemysłową, która w ekspresowym tempie zaledwie dwóch stuleci wyniosła ludzkość na zupełnie nowy, wyższy poziom rozwoju

cywilizacyjnego. Według szacunków Banku Światowego jeszcze w 1800 roku – a więc tuż na starcie tego industrialnego maratonu – aż 85% ludzkości żyło w skrajnej nędzy. Po około 100 latach dynamicznego rozwoju, a więc pod koniec XIX wieku, odsetek ten zmniejszył się do 50%. Obecnie szacuje się, że jedynie 9% światowej populacji żyje w takich warunkach. Można, a nawet należy dostrzegać to, jak szkodliwe następstwa spalania węgla i innych surowców kopalnych zmieniały i zmieniają ziemski klimat. Ale trzeba również przyznać, że to dzięki tym ostatnim – i dzięki ludziom, którzy je wydobywali, obrabiali i przetwarzali na energię służącą do zasilania coraz to nowych urządzeń – współczesny człowiek może powszechnie korzystać z dóbr i wygod, które dawniej nie były dostępne nawet królom czy cesarzom. Nie można jednak dać się uwieść narracji o jakimś rzekomym długu wdzięczności, który ludzkość ma wobec węgla – nie, nic takiego nie istnieje, bo węgiel to jednak surowiec, a nie przyjaciel z dzieciństwa; człowiek ma natomiast zobowiązania względem przyszłych pokoleń w zakresie utrzymania środowiska i klimatu w stabilnym stanie. Ale żeby było to możliwe, to znaczy, żeby udała się dekarbonizacja, trzeba najpierw rozumieć, dlaczego węgiel stał się tak ważnym elementem naszej rzeczywistości.

Historia węgla to tak naprawdę historia całego świata. Kiedy około 4,5 miliarda lat temu uformowała się planeta Ziemia, węgiel jako pierwiastek już na niej występował. Natomiast surowiec, o którym teraz mówimy, zaczął powstawać dużo później, to jest w okresie karbonu (węgiel kamienny) oraz paleogenu i neogenu (węgiel brunatny), a więc odpowiednio w przedziałach 358–298 milionów lat temu oraz 66–2,5 miliona lat temu. Przypomnijmy sobie, jak przebiegał ten długi i wieloetapowy proces. Otóż olbrzymie rośliny, które porastały Ziemię w karbonie, obumierały, a w miarę rozkładu – w sprzyjających warunkach temperaturowych i ciśnieniowych – tworzyły warstwę torfu*, którą (wskutek przemian terenu) pokrywał materiał skalny, na przykład piasek czy żwir. Pod ich ciężarem torf zagłębiał się pod powierzchnię ziemi, gdzie panowały coraz wyższe ciśnienie i coraz wyższa temperatura. Po kilku milionach lat oddziaływania tych dwóch czynników warstwa torfu stawała się węglem brunatnym, po kolejnych milionach lat – węglem kamiennym. Ktoś mógłby powiedzieć, że w pewnej perspektywie czasowej – liczonej w setkach milionów lat – węgiel jest odnawialnym źródłem energii. W końcu, jeśli poczekamy odpowiednio

* Por. R.M. Hazen, *Symfonia C*, Copernicus Center Press, Kraków 2022.

długo, to żyjące dziś na świecie rośliny mogą się w niego zamienić, tak jak stało się to w okresie karbonu.

Ludzkość zaczęła korzystać z surowca węglowego jeszcze w starożytności. Wzmianki o węglu można znaleźć między innymi u greckiego filozofa i uczonego z przełomu IV i III wieku p.n.e. Teofrasta z Eresos, zasługującego na miano starożytnego protonaukowca*. Teofrast wyprzedził własną epokę i prowadził pogłębione studia nad światem przyrody, starając się dokładnie opisywać i porządkować swoje obserwacje. W traktacie *O kamieniach* (*Περὶ λίθων*) wspomniał on o pewnych swoistych formacjach kamiennych występujących w Tracji, Ligurii i Elidzie, które mogły się zapalić i rozgrzać tak bardzo, że są wykorzystywane w kuźniach. Dziś wiadomo, że Teofrast opisywał węgiel brunatny. O węglu wspominali także Arystoteles (IV w. p.n.e.) i Pliniusz Starszy (I w. n.e.)**. Jednak węgiel zaczęto wykorzystywać powszechniej jako surowiec energetyczny dopiero kilkanaście wieków później. Dlaczego? Bo ludzkość używała łatwiej dostępnego opału o całkiem przyzwoitych – jak na ówczesne potrzeby – parametrach: drewna oraz węgla drzewnego.

* A. Frużyński, *Zarys dziejów górnictwa węgla kamiennego w Polsce*, Muzeum Górnictwa Węglowego, Zabrze 2012.

** J. Jaros, *Zarys dziejów górnictwa węglowego*, Śląski Instytut Naukowy w Katowicach, Katowice 1975.

Zwłaszcza ten drugi materiał był szczególnie ważny, gdyż dawał więcej ciepła niż naturalne drewno, przez co służył między innymi do wytapiania metali.

Węgiel drzewny można uzyskać poprzez wypalanie drewna w specjalnych stosach zwanych mielerzami. Zapala się je w centrum, uprzednio okrywając szczelnie darnią, torfem lub ziemią. Następnie przez kilka dni w mielerzu zachodzi proces pirolizy, inaczej suchej destylacji. W stosie, dzięki płonącemu centralnemu polanu, panuje temperatura kilkuset stopni Celsjusza, co powoduje – przy braku dostępu tlenu do reszty mielerza – rozkład termiczny drewna. W ten sposób postępuje wypalanie, w ramach którego około 5 kg drewna zmienia się w 1 kg węgla drzewnego*. To właśnie węgiel drzewny był kluczowym surowcem energetycznym dla światowych gospodarek w czasach przedprzemysłowych. Co ważne, nie zawierał siarki i generował względnie mało popiołu (w porównaniu z węglem kamiennym czy brunatnym). Dlatego też wzmiankę Teofrasta o kowalach korzystających z węgla brunatnego należy traktować jako coś wyjątkowego i rzadko spotykanego. Starożytni używali węgla tylko lokalnie, w miejscach, gdzie płytkie pokłady umożliwiały jego

* A. Frużyński, *Zarys dziejów górnictwa węgla kamiennego w Polsce*, dz. cyt.

pozyskanie bez większego trudu. Z wykopalisk archeologicznych wiadomo jeszcze, że starożytni Rzymianie korzystali czasami z węgla kamiennego do ogrzewania niektórych łaźni oraz do celów zdobniczych, jednakże surowiec ten musiał czekać na czas swojej chwały aż do początku czasów nowożytnych.

Na przeszkodzie powszechniejszego wykorzystania węgla stały ograniczone możliwości jego pozyskania. Jak wiadomo, złoża węgla kamiennego znajdują się głęboko pod powierzchnią ziemi. Jego wydobycie wymaga odpowiednich technologii, te zaś wiążą się z koniecznymi nakładami sił i środków. Tymczasem obfitość i dostępność drewna sprawiły, że przez stulecia nie było potrzeby sięgać w głąb ziemi po bardziej efektywny energetycznie węgiel. Górnictwo węglowe zaczęło się powoli rozwijać dopiero w średniowieczu. W XII wieku, a dokładnie w roku 1113, na terenie dzisiejszej Limburgii (pogranicze Holandii i Niemiec) powstała należąca do klasztoru Augustianów w Klosterrath kopalnia węgla kamiennego Herzogenrath*. Był to pierwszy na naszym kontynencie tego typu zakład, który zapoczątkował długą, trwającą do dziś historię górnictwa węglowego w Europie.

* Tamże; J. Jaros, *Zarys dziejów górnictwa węglowego*, dz. cyt.

W XIII stuleciu podziemne wydobywanie węgla rozpoczęło się w Anglii, której mieszkańcy korzystali już wcześniej z tego surowca, pozyskując go lokalnie metodą odkrywkową* – pozwalały na to niektóre bardzo płytkie pokłady. Niedługo potem zaczęto wydobywać kopaliny na terenie dzisiejszej Belgii i Francji (odpowiednio w XIII i XIV wieku), a następnie także w Westfalii i Zagłębiu Saary (od XV wieku). Co ciekawe, już od okresu średniowiecza ludzie zdawali sobie sprawę, że spalanie węgla może mieć negatywne konsekwencje zdrowotne – i starali się je ograniczyć. W 1306 roku król Anglii Edward I wprowadził zakaz palenia węglem w Londynie, z kolei w 1348 roku rada miasta Zwickau leżącego w Saksonii zakazała miejskim kowalom stosowania węgla kamiennego pod karą grzywny**. Przepisy te wprowadzono z uwagi na szkodliwy wpływ zanieczyszczeń tworzących się przy spalaniu – często słabej jakości – surowca. Można zatem przyjąć, że historia walki z tak zwanym smogiem sięga wieków średnich.

Wydobywanie węgla nie było jednak wyłącznie domeną Europejczyków. W XIV-wiecznych Chinach węgiel

* Odkrywkowe wydobywanie węgla polega na dostaniu się do pokładu poprzez zdjęcie wierzchniej warstwy gruntu. W Polsce metodą tą pozyskuje się węgiel brunatny, ale na świecie (na przykład w Australii czy w Rosji) znajdują się także odkrywkowe kopalnie węgla kamiennego.

** J. Jaros, *Zarys dziejów górnictwa węglowego*, dz. cyt.

kamienny stosowano do wypalania porcelany oraz wytopu i odlewu żelaza. Było to możliwe dzięki potężnym górniczym zagłębioniom Men-tuku i Chu-ku-tien, które znajdowały się w pobliżu Pekinu. Istnieją przekazy, które wskazują, że węgiel używano w Państwie Środka już 1000 lat przed Chrystusem. A słynny podróżnik Marco Polo w swoim dziele *Opisanie świata* wzmiankował, że w górach Chin wydobywa się „czarny kamień”, który pali się lepiej niż drewno. W gospodarce Japonii z kolei wykorzystywano węgiel od około XV wieku*.

Jednakże przez cały ten czas węgiel pozostawał niejako na uboczu. Ludziom wciąż łatwiej było pozyskać inne surowce energetyczne (przede wszystkim naturalne drewno), niż sięgnąć po trudno dostępne, ukryte w głębi ziemi złoża. Wszystko się zmieniło na przełomie XVI i XVII wieku – wówczas to trzy nachodzące na siebie czynniki sprawiły, że węgiel zawojował światową gospodarkę.

Przede wszystkim po Ziemi chodziło coraz więcej ludzi. W roku 1400 na świecie żyło około 390 milionów osób, w roku 1600 było ich już około 554 milionów, z kolei po roku 1800 liczba mieszkańców świata przekroczyła

* J. Jaros, *Zarys dziejów górnictwa węglowego*, dz. cyt.

miliard*. Tak istotny przyrost naturalny był szczególnie widoczny w zasobnych i rozwiniętych krajach Europy Zachodniej – przede wszystkim w Anglii. Populacja tego kraju rosła gwałtownie od początku XVI wieku. W roku 1550 na świecie żyło około 3 milionów Anglików, w roku 1600 – już 4 miliony, a w 1650 – 5 milionów**. Był to wyjątkowo szybki – jak na tamtą epokę – skok populacyjny. Tak szybko zachodzące zmiany demograficzne sprawiły, że dotychczasowe metody pozyskiwania niektórych surowców, na przykład drewna, stały się dalece niewystarczające (rosnąca populacja oznacza na ogół zwiększającą się konsumpcję). Można stwierdzić, że Anglia przełomu wieków XV i XVI to pierwsze państwo w historii, które zostało dotknięte kryzysem energetycznym, a konkretnie kryzysem drzewnym. Ów angielski kryzys przypadł na czas rządów Elżbiety I (1558–1603) oraz Jakuba I (1603–1625). Wówczas cena drewna***, czyli głównego materiału

* W roku 1900 ludzi było już 1,6 miliarda. W ciągu pół tysiąca lat populacja na Ziemi zwiększyła się czterokrotnie. Takie samo tempo wzrostu utrzymano w XX wieku – w 2000 roku ludzi na świecie było już 6 miliardów, a w 2022 roku liczba ta wzrosła do 8 miliardów.

** Zmianę populacyjną widać było dobrze w stolicy Anglii. Londyn na początku XVI wieku zamieszkiwało około 60 tysięcy osób. Tymczasem w roku 1700 londyńczyków było już ponad pół miliona.

*** J.U. Nef, *An Early Energy Crisis and its Consequences*, „Scientific American” 1977, t. 237, nr 5, s. 140–151.

opałowego (węgiel używany był wówczas jedynie lokalnie, praktycznie wyłącznie w okolicach wspomnianych płytkich pokładów wydobywczych) uległa gwałtownemu podwyższeniu*.

Drewno było wówczas najpopularniejszym materiałem budowlanym. Załamanie podaży surowców drewnopochodnych wynikało nie tylko z potrzeb energetycznych coraz liczniejszego angielskiego społeczeństwa, ale także z przyczyn budowlano-konstrukcyjnych: ludzie potrzebowali domów, a królestwo – statków. Rozbudowa miast była

* Jak w każdej dziedzinie, tak i w wydobywaniu węgla zdarzają się ludzie, którzy znacząco wyprzedzają swoją epokę. W górnictwie węglowym był to z pewnością szkocki kupiec i inżynier George Bruce z Carnock (1550–1625), który zasłynął konstrukcją Moat Pit, czyli podwodnej kopalni węgla zbudowanej w roku 1575. Był to pierwszy taki obiekt na świecie, który wyprzedzał swoje czasy o około trzysta lat. Bez wątplenia można nazwać go cudem technologicznym XVII wieku. Moat Pit została zbudowana na terenie zatoki Firth of Forth poprzez wydrążenie podwodnego szybu z wejściem na lądzie, połączonego z innym szybem o długości około dziesięciu metrów, z wylotem na sztuczną wyspę z wieżyczką, gdzie urobek od razu ładowano na łódzie. Wyspa znajdowała się około 400 metrów od brzegu. W 1617 roku konstrukcję odwiedził król Jakub I. Kiedy George Bruce zabrał jego królewską wysokość na spacer po terenie kopalni i wyprowadził na wieżyczkę, władca tak bardzo zdziwił się, że wyszedł na odalone od brzegu miejsce otoczone wodą, iż w pierwszej chwili uznał, że genialny inżynier chce dokonać zamachu na jego życie. Moat Pit została zalana w 1625 roku przez gwałtowny sztorm. Por. D. Adamson, *A Coal Mine in the Sea: Culross and the Moat Pit*, Edinburgh University Press, Edinburgh 2008.

logiczną konsekwencją przyrostu liczby ludności. Zapotrzebowanie na flotę wynikało z kolei z imperialnej drogi, jaką obrała Anglia. Odkrycia geograficzne i ekspansja na nowych lądach przyniosły Anglikom długą listę zamorskich posiadłości, których utrzymanie wymagało zarówno statków handlowych, jak i okrętów wojennych. Powstała w 1600 roku Brytyjska Kompania Wschodnioindyjska dzięki królowej Elżbiecie I dysponowała monopolem na handel z Indiami Wschodnimi i tworzyła własną flotę East Indiamen* do obsługi i ochrony swych interesów. Wzrost znaczenia Anglii na morzu sprawił, że znalazła się na kursie kolizyjnym z innymi mocarstwami morskimi – Hiszpanią i Niderlandami. Wojna z tym pierwszym krajem trwała od 1587 do 1604 roku, z kolei wiek XVII przyniósł trzy wojny angielsko-holenderskie. Wszystkie te konflikty wymagały istotnych sił morskich, dlatego też angielska Royal Navy stale zgłaszała zapotrzebowanie na okręty. Pod koniec XVI stulecia w wyprawie Anglików przeciwko Hiszpanom uczestniczyło niemal dwieście okrętów wojennych, z czego około 20% zostało zniszczonych lub przechwyconych przez przeciwnika. Tymczasem

* Por. H.V. Bowen, *The shipping losses of the British East India Company, 1750-1813*, „International Journal of Maritime History” 2020, t. 32, nr 2, s. 323-336.

budowa jednego galeonu wymagała od kilkuset do nawet kilku tysięcy ton drewna odpowiedniej jakości – dokładne zapotrzebowanie wynikało z rozmiarów okrętu. Drewno zaczęło być towarem kosztownym i deficytowym; zbyt drogim, by po prostu je spalać – to zapoczątkowało poszukiwania alternatywy energetycznej.

Drugim czynnikiem, który przyczynił się do coraz większego zapotrzebowania na węgiel, była tak zwana Mała Epoka Lodowa, czyli okres naturalnego ochłodzenia klimatu trwający od XVI do XIX wieku, który nastąpił po okresie średniowiecznego optimum klimatycznego*. Mała Epoka Lodowa była efektem zmiany aktywności słonecznej połączonej z większą aktywnością wulkaniczną, która dodatkowo ochłodziła klimat**; wszystko to spowodowało, że średnie temperatury na półkuli północnej obniżyły się o około 1 stopień Celsjusza. W połowie XVII stulecia liczne wioski w Alpach zostały zniszczone przez rozrastające się lodowce. Regularnie zamarzały nie tylko rzeki i kanały wodne Anglii i Niderlandów, ale nawet – jak w 1622 roku – południowa część

* J.M. Grove, *The Initiation of the Little Ice Age in Regions Round the North Atlantic*, „Climatic Change” 2001, nr 48, s. 53–82.

** Erupcje wulkanów wywołują emisje związków siarki, które reagują z wodą w atmosferze i tworzą aerozole odbijające światło słoneczne, co przyczynia się do ochładzania klimatu.

Bosforu. W 1658 roku szwedzka armia przeszła przez skutą lodem cieśninę Wielki Bełt i zaatakowała Kopenhagę. Coraz dłuższe i mroźniejsze zimy wobec coraz większej niedostępności opału sprawiły, że ludzie zaczęli rozglądać się za nowym, wydajniejszym źródłem ciepła, które byłoby w stanie uchronić ich przed mrozem.

Trzecim czynnikiem, który zdecydował o sukcesie węgla, był rozwój technologiczny, który okiełznał energię drzemiącą w tym surowcu. Ludzkość nauczyła się wykorzystywać do pracy potężne siły surowców energetycznych dzięki innowacyjności wynalazców, zmysłowi praktycznemu inżynierów oraz rachubom racjonalizatorów. W głowach tych ludzi narodziły się idee, które zaowocowały konkretnymi projektami, a z nimi pojawiła się szansa dla węgla. Przykładowo, Denis Papin, francuski wynalazca, który wyemigrował do Anglii, w 1698 roku skonstruował tam pierwszy tłokowy silnik parowy. Thomas Newcomen, angielski pionier inżynierii, nie tylko w 1705 roku opatentował swój atmosferyczny silnik parowy, czyli maszynę parową, ale także zainstalował to urządzenie w kopalniach węgla w Wolverhampton i Staffordshire. James Watt*, naprawiając w 1763 roku jeden z uszkodzonych silników

* To właśnie od nazwiska owego wynalazcy jednostkę mocy w układzie SI nazwano watem.

Newcomena, wprowadził w nim usprawnienia znacząco zwiększające wydajność pracy i zmniejszające zużycie paliwa, stworzył urządzenie, które sprawiło, że to właśnie on - a nie Newcomen - jest powszechnie, choć nie do końca poprawnie, uważany za wynalazcę maszyny parowej. A paliwem dla tychże maszyn był coraz częściej węgiel*.

Zasada działania maszyny parowej opierała się na przemianie energii cieplnej w energię mechaniczną (warto tu przypomnieć pierwszą zasadę termodynamiki: energii nie można stworzyć, nie można też jej zniszczyć, można ją jedynie przekształcić z jednej formy w drugą). Do przemiany tej dochodziło, kiedy spalany w kotłowni węgiel ogrzewał kocioł wypełniony wodą, która - zmieniając się w parę - trafiała pod ciśnieniem do cylindrów wyposażonych w tłoki, a ta raz do przedniej, raz do tylnej części cylindra (odpowiadał za to ruchomy suwak), co wprawiało tłoki w ruch. Para po prostu uderzała to z jednej, to z drugiej strony, przez co tłok przesuwał się w cylindrze. Z kolei same tłoki były połączone z resztą mechanizmu napędowego i za pomocą tak zwanych wałów korbowych zmieniały ruch prostoliniowy w ruch obrotowy. Para, która przeszła przez cylindry, była następnie

* V. Smil, *Energy and Civilization. A History*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2017.

kierowana do kondensatora, gdzie dochodziło do jej schłodzenia i skroplenia, czyli do powrotu do stanu ciekłego. To umożliwiało przekierowanie wody z powrotem do kotła, ponowne podgrzanie jej do postaci pary i rozpoczęcie ponownego cyklu pracy maszyny.

Maszyna parowa oraz związane z nią przełomy w technice otworzyły drogę do dynamicznego rozwoju cywilizacji – oraz do wzrostu zużycia surowca węglowego. Ów rozwój nie byłby możliwy, gdyby ludzkość wciąż polegała na drewnie czy na węglu drzewnym – i to z kilku względów. Kluczowe jest jednak, że w węglu tkwi więcej energii niż w drewnie. Dokładna gęstość energii tych materiałów różni się oczywiście w zależności od ich jakości i dokładnego składu, ale nawet podanie pewnych wartości orientacyjnych pozwala uzmysłowić sobie, o ile efektywniejszym źródłem energii jest surowiec węglowy. Można przyjąć, że gęstość energii węgla to 6–9 kWh/kg. To wynik dwukrotnie lepszy niż w przypadku drewna, którego gęstość energii równa się 3–5 kWh/kg. Warto się również zastanowić, jak wygląda ten wskaźnik w przeliczeniu na objętość. W 1 m³ drewna tkwi 870–3000 kWh, a w 1 m³ węgla 6000–10 000 kWh. Innymi słowy, można wyobrazić sobie sytuację, w której zastąpienie 1 m³ węgla dobrej

jakości wymaga dostarczenia 10 m³ pośledniejszego drewna. Pozostanie przy tym drugim surowcu tworzyłoby coraz większy problem logistyczny i gospodarczy, uniemożliwiający zaistnienie procesu, który przeszedł do historii pod nazwą rewolucji przemysłowej. Rozwinięta przez Watta maszyna parowa potrafiła zużyć 1000–1500 kg węgla podczas dnia pracy*; aby osiągnąć ten sam efekt, musiałaby zużyć dziesięciokrotnie więcej kilogramów drewna.

Zasilane węglem urządzenia szybko zaczęły zmieniać oblicze angielskiego, europejskiego, a później i światowego przemysłu. Maszyny parowe wykorzystywano do pracy przede wszystkim w kopalniach, głównie tych węglowych**. Jak wspominałem, już za czasów Newcome'na pierwsze takie jednostki trafiły do zakładów wydobywczych w Wolverhampton i Staffordshire (odpowiednio w 1711 i 1712 roku), gdzie ich zadaniem było wypompowywanie wody, co umożliwiała bezpieczną i nieprzerwaną pracę kopalni. Najstarszą zachowaną maszyną parową świata jest

* Por. <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=667&t=6> [dostęp: 18.08.2023].

** Zainteresowanie gospodarcze pozyskiwaniem surowca węglowego oraz wsparcie techniczne w postaci maszyn parowych sprawiło, że na początku XVIII wieku Anglia odpowiadała aż za 80% wydobycia węgla kamiennego w Europie. Dziś największym producentem tego surowca na Starym Kontynencie jest Polska.

Smethwick Engine, urządzenie zbudowane przez samego Jamesa Watta w roku 1779. Smethwick Engine pompował wodę między śluzami kanału należącego do Birmingham Canal Company. Jednocylindrowa budowa pozwalała maszynie pompować równowartość 1500 wiader wody na minutę, co sprawiło, że kanał, przy którym pracowała, osiągnął przepustowość 250 łodzi na tydzień. Urządzenie to można obecnie oglądać w muzeum w Birmingham. W roku 1800 w Wielkiej Brytanii działało już około 2500 maszyn parowych, głównie w kopalniach, przędzalniach bawełny i manufakturach. Trzeba także uwzględnić rozwój parowych napędów w transporcie. W 1801 roku Richard Trevithick zaprezentował światu swój powóz parowy, który przewiózł pierwszych pasażerów w Wigilię Bożego Narodzenia, rozpoczynając w ten sposób historię nowoczesnej motoryzacji. W 1829 roku George i Roger Stephensonowie (ojciec i syn) zaprezentowali słynną „Rakietę”, czyli lokomotywę parową, która poruszała się po torach i osiągała maksymalną prędkość 48 km/h.

Wszystkie te wynalazki i innowacje pociągały za sobą zwiększenie zapotrzebowania na węgiel. W 1700 roku na terenach obecnej Wielkiej Brytanii wydobywano rocznie około 2 milionów ton węgla kamiennego. W 1750 roku wydobycie sięgało już 5 milionów

ton, w roku 1800 – 10 milionów ton, w roku 1850 – około 70 milionów ton*, a w roku 1900 – około 250 milionów ton. Szczyt przypadł na rok 1913, tuż przed I wojną światową, kiedy to w Zjednoczonym Królestwie wydobyto 292 miliony ton węgla. Wzrost znaczenia węgla w angielskiej gospodarce czasów rewolucji przemysłowej najlepiej pokazać na przykładzie branży metalurgicznej – węgiel koksujący pozwolił tej gałęzi przemysłu osiągnąć zupełnie nową jakość. W 1720 roku na Wyspach Brytyjskich wytapiano rocznie prawie 21 tysięcy ton żeliwa, z czego około 97% z wykorzystaniem węgla drzewnego, a pozostałe 3% – węgla. Tak niski udział surowca węglowego był skutkiem nie tyle jego niedostępności, ile raczej nieumiejętności stosowania tego materiału w metalurgii. Dużo w tym zakresie zmieniło się po 1735 roku, kiedy to huta w Coalbrookdale wypracowała technologię wytapiania dobrej jakości surówki na koksie. W roku 1750 udział żeliwa wytwarzanego przy użyciu węgla wzrósł do około 10%, przy całkowitej produkcji 27 tysięcy ton. W 1806 roku proporcje z roku 1720 zostały odwrócone: 3% brytyjskiego żeliwa uzyskiwano, wykorzystując węgiel drzewny, a 97% koks wytwarzany z węgla koksowego. Całość produkcji sięgała

* Por. G. Clark, D. Jacks, *Coal and the Industrial Revolution, 1700-1869*, Oxford University Press, Oxford 2007.

około 260 tysięcy ton*. Innymi słowy, w ciągu niecałych stu lat węgiel wyparł mniej efektywne paliwa i zaczął się okres jego dominacji, tak w angielskim, jak i w światowym miksie energii pierwotnej.

Intensyfikacja wydobycia węgla wymuszała rozwój technologii górniczych, które z jednej strony zwiększałyby wydobycie surowca, a z drugiej – zapewniały pracownikom kopalni bezpieczeństwo. Na początku XVIII wieku najgłębsze angielskie kopalnie węgla kamiennego sięgały 100 metrów. W połowie tego stulecia drążono już szyby na głębokości 200 metrów. Na początku wieku XIX kopalnie wydobywały surowiec z pokładów leżących 300 metrów pod powierzchnią**. Obecnie węgiel kopie się nawet na głębokości 1500 metrów***. Zaznaczyć trzeba, że sięganie po coraz to głębsze pokłady jest po pierwsze niebezpieczne, po drugie kosztowne. Wyzwaniem jest samo podtrzymanie życia górników na większych głębokościach – do miejsc pracy trzeba doprowadzić tlen i światło; należy też wyposażać pracowników w wodę i pożywienie, trzeba ich również przetransportować na przodek. A kiedy górnicy dotrą już do ścian wydobywczych i zaczną pozyskiwać

* R.F. Tylecote, *A History of Metallurgy*, 2 ed., Maney Publishing for the Institute of Materials, London 1992.

*** G. Clark, D. Jacks, *Coal and the Industrial Revolution 1700-1869*, dz. cyt.

*** Por. tamże.

z nich węgiel, ich urobek musi zostać dostarczony na powierzchnię. Prowadzenie głębokiej kopalni to potężne wyzwanie logistyczne, wymagające odpowiedniego doboru technologii, co generuje olbrzymie koszty. To między innymi dlatego z niektórych pokładów nie opłaca się wydobywać węgla – nakłady, jakie trzeba by ponieść na rzecz wydobycia i dostarczenia surowca do odbiorców, znacząco przekraczają jego wartość. Właśnie ten problem zaczyna coraz bardziej doskwierać polskim kopalniom.

Jednak rodzące się w Anglii górnictwo wolne było jeszcze od tego typu bolączek i dopiero rozpoczynało penetrację złóż. Od XVI wieku kluczowym angielskim rejonem wydobycia węgla kamiennego stała się dolina rzeki Tyne (która uchodzi do Morza Północnego), co umożliwiało szybki dalszy transport drogą morską. Już w latach 30. XVII wieku do samego Londynu zwożono statkami do 250 tysięcy ton węgla rocznie. Gwałtownie rosnące zapotrzebowanie na ten surowiec pociągało za sobą konieczność utworzenia sprawniejszych łańcuchów logistycznych. Od końca XVI wieku zaczęto między innymi tworzyć sieci kolejek konnych przewożących węgiel z kopalni do portów przeładunkowych. Głód węglowy angielskiej gospodarki sprawił, że zakłady wydobywcze szybko stały się dochodowymi przedsiębiorstwami – niektóre

z nich zatrudniały nawet setki pracowników, wśród których tylko część stanowili górnicy. Równoległe z budowaniem pozycji poszczególnych kopalni zaczęła się tworzyć swoista kultura górnicza, jej własne tradycje, przesady i zwyczaje. Dość szybko górnicy zyskali samoświadomość ich znaczenia gospodarczego, a wraz z nią specyficzne narzędzia do walki o własne interesy. Chodzi mianowicie o strajki. Pierwsza taka udokumentowana akcja pracowników kopalni miała miejsce w 1709 roku. Jej powodem były niskie płace. Wraz z rozwojem górnictwa węglowego przed ludzkością otworzyła się nowa płaszczyzna ekonomiczna – konkurencja w zakresie kosztów wydobycia. Różnice zasadzały się na przykład na wykorzystywanych w danej kopalni metodach wydobycia. Najpopularniejszym XVIII-wiecznym sposobem wyciągania na powierzchnię wydobytego przez górników surowca były wozy zaprzęgnięte w konie pociągowe. Z czasem jednak kopalnie zaczęły zaopatrywać się w maszyny parowe, które były tańsze – w XIX wieku urządzenia te były 3-4 razy bardziej efektywne ekonomicznie niż praca koni*.

Angielskie osiągnięcia techniki z wynalazkami w tej dziedzinie zaczęły w XVIII wieku docierać do Europy

* Tamże.

kontynentalnej, co rozpędziło europejską gospodarkę, ale i zwiększyło popyt na węgiel. Pozyskiwanie tego surowca okazało się na tyle ważne, że kontrolą nad poszczególnymi zagłębiami węglowymi zaczęły się interesować władze państwowe. W 1751 roku książę Wilhelm Henryk von Nassau-Saarbrücken zajął kopalnie Zagłębia Saary, które dotychczas prowadzili lokalni parobkowie*. W 1815 roku zakłady przeszły na własność państwa pruskiego. W Prusach zakładano też nowe państwowe kopalnie, na przykład na Górnym Śląsku. Pozyskiwanie węgla stało się na tyle istotne, że niektóre kraje zaczęły tworzyć specjalne prawo górnicze, określające zasady nadzoru nad przemysłem wydobywczym, niekiedy ograniczając prawa właścicieli gruntu, pod którym znajdowało się złożo – tak było na przykład we Francji w roku 1810. W Prusach Fryderyk II wprowadził w latach 1766–1772 szereg praw górniczych, które wprowadzały tak zwaną zasadę *regale* górniczego: poszukiwanie złóż oraz wydobycie węgla było możliwe jedynie po uprzedniej zgodzie wydanej przez władze państwa. Instrument ten można porównać do dzisiejszej koncesji, znanej chociażby z polskiego prawa dotyczącego prowadzenia działalności gospodarczej. Osoby prywatne

* J. Jaros, *Zarys dziejów górnictwa węglowego*, dz. cyt.

natomiast często zrzeszały się w spółki akcyjne, które od początku XVII wieku funkcjonowały w Niderlandach. Tworzenie takich podmiotów, łączących siły i środki licznych pojedynczych inwestorów, pozwoliło szybko akumulować kapitał, dzięki czemu można było udźwignąć olbrzymie koszty związane z budową kopalni. Wraz z rozwojem górnictwa zwiększały się bowiem nie tylko potrzeby finansowe w zakresie budowy zakładów wydobywczych i wyposażania ich w nowocześniejsze urządzenia. Trzeba było również opłacić coraz bardziej wyspecjalizowanych górników. To między innymi ze względu na koszty w XIX wieku na znaczeniu zaczęły przybierać państwowe kopalnie węgla – poszczególne państwa nie tylko mogły sobie finansowo pozwolić na budowę i utrzymanie takich zakładów, ale były także w stanie zintegrować kopalnie na przykład z hutami. Rozwijała się też długodystansowa logistyka dostaw węgla – w tym celu wykorzystywano głównie barki, statki i łodzie, dlatego też niektóre zagłębia węglowe wzięły swoje nazwy od nazw rzek. Tak było w przypadku Zagłębia Donieckiego, Zagłębia Ruhry i Zagłębia Saary*.

W latach 40. XIX wieku w Wielkiej Brytanii działało ponad 50 zagłębi węglowych, z ponad 2000 różnej

* Tamże.

wielkości kopalni. Według spisu z 1841 roku w brytyjskim górnictwie węglowym (nie licząc Irlandii) zatrudniano 118 223 osoby. Głównym konsumentem surowca był przemysł metalurgiczny (który odpowiadał za 40% krajowego zbytu węgla), a niewiele mniej zużywano na potrzeby grzewcze (30% zbytu). Z kolei we Francji działało w tym czasie kilkadziesiąt mniejszych i dwa główne zagłębia węglowe: Zagłębie Loire i Zagłębie Północne; w 1847 roku funkcjonowało 258 kopalni węgla zatrudniających 34 791 osób. Około 2/3 wydobycia tego surowca wykorzystywano w przemyśle, cele opałowe pochłaniały około 20% zbytu. Górnictwo węglowe rozwijało się dynamicznie także w Belgii, Prusach i innych krajach niemieckich oraz w Cesarstwie Austrii. Słabszy rozwój tego sektora gospodarki notowała Rosja. Po drugiej stronie Atlantyku, w USA, węgiel zaczęto wydobywać na szerszą skalę dopiero w XIX stuleciu – w 1806 roku założono w tym celu pierwsze przedsiębiorstwo*.

Choć początkowo USA nie dysponowały takimi możliwościami technicznymi jak kraje Europy, jednak w XIX wieku to właśnie w tym państwie dokonała się kolejna rewolucja przemysłowa, która dała węglowi nowe

* Tamże.

zastosowanie. Mowa oczywiście o rozwoju elektroenergetyki, za której ojca można uważać Thomasa Edisona. Ten genialny wynalazca w 1882 roku otworzył pierwszą na świecie elektrownię węglową* Holborn Viaduct, zwaną też Edison Electric Light Station. Co ciekawe, choć Edison był Amerykaninem, tę jego pierwszą jednostkę wytwórczą uruchomiono w Londynie. Wybór miejsca nie był przypadkowy. Na początku lat 80. XIX wieku Edison prowadził szeroko zakrojone działania marketingowe, promując swoje wynalazki, w tym oświetlenie elektryczne. Wykorzystał w tym celu wystawę przemysłową w Paryżu zorganizowaną w 1881 roku. To zwróciło na jego produkty uwagę Brytyjczyków, którzy po serii problematycznych eksperymentów z publicznymi lampami elektrycznymi zdecydowali się zaangażować Edisona i jego firmę do budowy elektrowni. Jednostka rozpoczęła pracę 12 stycznia, opierała się na opalanej węglem maszynie parowej o mocy 93 kW, co wystarczyło do zasilenia niespełna tysiąca okolicznych lamp. Niecałe dziewięć miesięcy później, 4 września 1882 roku, Edison otworzył swoją pierwszą w USA elektrownię Pearl Street Station. Działała ona na Manhattanie i dysponowała mocą zainstalowaną 600 kW.

* Pierwszą na świecie publiczną elektrownią była elektrownia wodna Godalming w angielskim Surrey, uruchomiona w 1881 roku.

Paliwem dla tej jednostki również był węgiel kamienny. W 1884 roku elektrownia zapewniała zasilanie 508 klientom, rozświetlając około 10 tysięcy lamp. Z czasem jednostkę poszerzono o możliwość kogeneracji, czyli jednoczesnego wytwarzania energii elektrycznej oraz ciepła do celów przemysłowych – Pearl Street Station zaczęła ogrzewać okoliczne budynki, dzięki czemu stała się nie tylko pierwszą amerykańską elektrownią, ale także pierwszą na świecie elektrociepłownią. W 1892 roku w niemieckim Frechen otworzono natomiast pierwszą na świecie elektrownię zasilaną węglem brunatnym. Za przyczyną tych jednostek rozpoczęła się kolejna, druga rewolucja przemysłowa, której paliwo również stanowił węgiel. Na ten sam okres datuje się także początek budowy systemów elektroenergetycznych, które z czasem stały się największym urządzeniem, jakie kiedykolwiek zbudował człowiek. Jak się okazało, surowiec węglowy mógł nie tylko usprawnić produkcję przemysłową i służyć jako dobrej jakości opał. Był on także w stanie pomóc w generowaniu energii elektrycznej, z której ludzkość czerpie pełnymi garściami do dziś – i wszystko wskazuje na to, że kolejne dekady będą czasem coraz dalej postępującej elektryfikacji.

Kolejny przełom dla rozwoju opartych na węglu systemów energetycznych nadszedł w roku 1884, kiedy to

brytyjski wynalazca Charles Parsons opatentował nowoczesną turbinę parową. Sam concept turbiny nie był jego wynalazkiem – pierwsze tego typu konstrukcje powstały już w starożytności. Opracował je żyjący w I wieku naszej ery Heron z Aleksandrii, twórca takich urządzeń jak katapulta czy balista. Przez stulecia konstrukcja turbiny podlegała zmianom i ulepszeniom – zajmowali się tym między innymi Giovanni Branca (żyjący na przełomie XVI i XVII wieku włoski inżynier), John Wilkins (XVII-wieczny angielski myśliciel i filozof) czy Ferdinand Verbiest (jezuicki misjonarz działający w Chinach w XVII wieku). Swoją wersję turbiny skonstruował w 1775 roku James Watt. Jednakże dopiero Parsons udoskonalił ten concept do tego stopnia, że historia zapamiętała go jako wynalazcę nowoczesnej turbiny parowej. Zasada jej działania jest bardzo prosta – turbina zamienia energię pary wodnej pod ciśnieniem w energię mechaniczną, a następnie (w przypadku elektrowni) w elektryczną. Umieszczony w obudowie wirnik złożony z kilku zestawów łopatek (ukształtowanych w taki sposób, by maksymalnie efektywnie zmieniać energię kinetyczną pary w energię mechaniczną) obraca się, gdy trafia w niego strumień pary. Łopatki są ułożone stopniami, co z jednej strony pozwala rozłożyć obciążenie,

a z drugiej – zwiększyć efektywność urządzenia. Pierwsza zainstalowana przez Parsonsa turbina, która zaczęła pracę w 1888 roku w Newcastle, miała moc 75 kW.

Węglowa elektryfikacja jeszcze bardziej napędziła wzrost udziału tego nośnika energii w światowym zużyciu energii pierwotnej. W 1840 roku wyniósł on 5%, w 1855 – już 10%, w roku 1895, a więc po wynalazkach Edisona i Parsonsa – 40%, a w roku 1900 – 50%. Do końca XIX wieku za pozostałą część światowego miksu energetycznego odpowiadały praktycznie wyłącznie drewno oraz węgiel drzewny*.

W XIX wieku surowiec węglowy miał swoje 5 minut także w transporcie. Wynikało to z gwałtownego rozwoju kolei, co było możliwe dzięki lokomotywowi parowym. Urządzenia te – podobnie jak turbiny parowe – zmieniały energię kinetyczną pary wodnej w ruch tłoków napędzających koła. Lokomotywy parowe były wyposażone w tak zwany tender, czyli specjalny wagon, który przewoził węgiel zasilający pojazd. Pierwsze sieci kolejowe i stałe połączenia transportowe obsługiwane przez kolej pojawiły się prawie równolegle na Wyspach Brytyjskich i w USA. W 1830 roku w Wielkiej Brytanii istniało około

* V. Smil, *Energy and Civilization*, dz. cyt.

160 kilometrów torów, w 1850 – około 10 tysięcy kilometrów, w 1860 już około 17 tysięcy. Podobny rozrost sieci kolejowej obserwowano po drugiej stronie Atlantyku, w USA. W roku 1830 Amerykanie dysponowali torami o łącznej długości około 65 kilometrów, w 1850 – trakcja kolejowa liczyła 13 tysięcy kilometrów, w 1860 – około 47 tysięcy kilometrów. USA zamknęły XIX wiek bilansem sieci kolejowej rozrośniętej do prawie 300 tysięcy kilometrów*.

Innowacje transportowe dotarły także nad rzeki, morza i oceany. W 1783 roku we Francji skonstruowano pierwszy parowiec o nazwie *Pyroscaphe*. Był on napędzany maszyną parową, która wprawiała w ruch dwa koła łopatkowe umiejscowione na obu burtach. W 1813 roku pierwszy parowiec wypłynął na pełne morze; w roku 1821 zwodowano pierwszy taki statek z żelaznym poszyciem – była to 116-tonowa jednostka o nazwie *Aaron Manby*, która przepłynęła kanał La Manche, osiągając prędkość 8 węzłów (czyli około 14 km/h). Za pierwszy parowiec, który przepłynął Atlantyk, uchodzi amerykański statek *SS Savannah*, który odbył taką podróż w 1819 roku, lecz była to jednostka o napędzie hybrydowym – posiadała napędzane

* Por. <https://www.loc.gov/collections/railroad-maps-1828-to-1900/articles-and-essays/history-of-railroads-and-maps/the-beginnings-of-american-railroads-and-mapping> [dostęp: 18.08.2023].

parą dwa koła łożatkowe, lecz większość trasy po Oceanie Atlantyckim przebyła dzięki żaglom. Dlatego też tytuł pierwszego parowca-transatlantyku dzierży holenderski statek Curaçao, który w 1827 roku przepłynął z Rotterdamu do Paramaribo. Na przełomie lat 30. i 40. XIX wieku rozpoczęto budowę parowców na potrzeby regularnych kursów między Europą i Amerykami. W 1832 roku żyjący w Nowej Szkocji rybak John Patch wynalazł napęd śrubowy, który zaczął wypierać koła łożatkowe ze statków i okrętów, stając się w latach 70. XIX wieku dominującym napędem w żegludze. Śruby sprawiały, że jednostki pływające były szybsze, łatwiejsze w kontroli i niezależne od siły wiatru. Kolumb na swoich żaglowcach płynął do archipelagu Bahamów przez 2 miesiące i 9 dni. Parowce z lat 30. XIX wieku potrzebowały na przebycie Atlantyku 2-3 tygodni. Jednostki z napędem śrubowym były w stanie przepłynąć tę trasę w 10-12 dni.

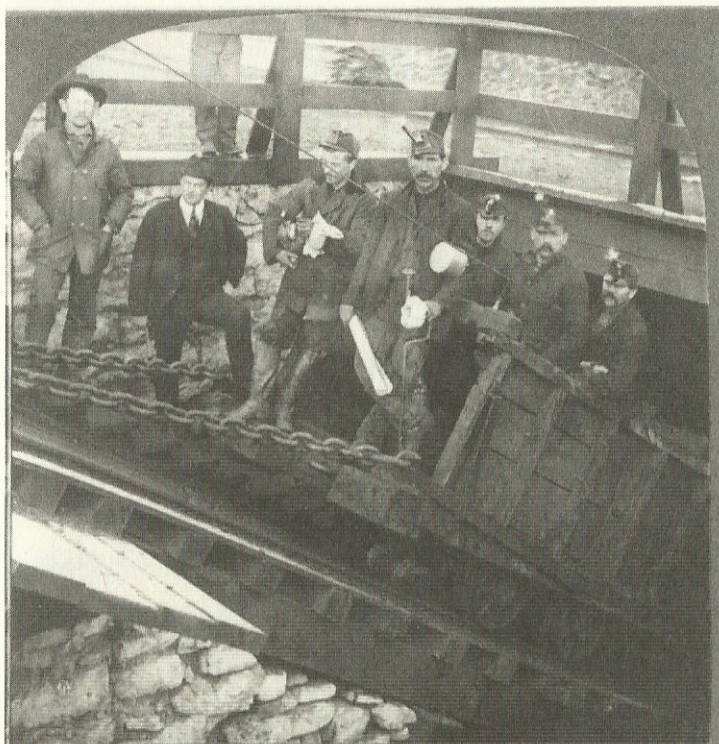
Ale kolejnictwo i żegluga nie były jedynymi gałęziami transportu, w której węgiel odegrał istotną rolę. W 1912 roku profesor Friedrich Bergius wynalazł metodę przetwarzania węgla (a dokładnie antracytu) na paliwo płynne dzięki nasycaniu go wodorem. Umożliwiło to - w pewnej perspektywie - zastępowanie węglem ropy naftowej przy produkcji na przykład syntetycznej

benzyny. W 1920 roku w Niemczech uruchomiono produkcję benzyny właśnie dzięki metodzie opracowanej przez Bergiusa. Alternatywną metodę produkcji paliw płynnych z węgla opracowali niemieccy chemicy Franc Fischer i Hans Tropsch. Prace tych wszystkich naukowców okazały się niezwykle istotne dla niemieckiej III Rzeszy, która po ataku na Związek Sowiecki zaczęła zmagać się z niedoborami kluczowych paliw i surowców, a odcięcie od dostaw ropy z pól ZSRS mogło załamać pochód wojsk hitlerowskich. Dlatego też Niemcy przestawiły się w dużej mierze na produkcję paliw z surowca węglowego. Otrzymywane w ten sposób syntetyczne paliwa były w stanie zaspokoić około 1/3 zapotrzebowania III Rzeszy. Sytuacja zmieniła się po 1943 roku, kiedy to siły amerykańskie przypuściły atak na istotną część niemieckiego przemysłu chemicznego (zostało to szerzej opisane w rozdziale poświęconym ropie naftowej)*.

* Historia Niemiec pokazała, że węgiel kamienny może być nośnikiem energii o znaczeniu geopolitycznym. Niemcy wydobywali ten surowiec w dwóch głównych zagłębiach (Ruhry i Saary), wokół których szybko wyrósł przemysł metalurgiczny i zbrojeniowy. Szczególnie ważne okazało się Zagłębie Ruhry – tuż przed wybuchem I wojny światowej było ono największym regionem przemysłowym w Europie i najważniejszym ogniwem w łańcuchu zbrojeniowym II Rzeszy, głównie dzięki zakładom Kruppa, w których pracowało w 1914 roku około 120 tysięcy osób. Porażka Niemiec w 1918 roku i ustalenia traktatu wersalskiego spowodowały

Węgiel od początku XX wieku stanowił główny surowiec energetyczny świata oraz kluczowe narzędzie do podwyższania jakości życia ludzi. Był fundamentem elektryfikacji świata – na początku XX wieku na świecie zaczęły powstawać elektrownie węglowe o mocy 1–10 MW. W 1912 roku

zdemilitaryzowanie Zagłębia Ruhry oraz jego przejście pod okupację państw ententy. Niedługo potem terytorium to zostało zajęte przez wojska francuskie i belgijskie. W tym samym czasie Zagłębie Saary trafiło pod zarząd Ligi Narodów. Kwestia kontroli nad dwoma potężnymi ośrodkami przemysłowymi stała się jednym z przedmiotów narracji narodowych socjalistów, którzy pod wodzą Adolfa Hitlera przejęli władzę w Niemczech w 1933 roku. Trzy lata później Führer zdecydował się naruszyć ustalenia wersalskie i wysłał 30-tysięczny korpus do Zagłębia Ruhry w celu odzyskania pełnej kontroli nad tym obszarem. Niechęć Francji i Wielkiej Brytanii do konfrontacji sprawiła, że Niemcy ponownie zawładnęli tym potężnym centrum przemysłowym, które zaczęło służyć nowej machinie wojennej – tym razem należącej do III Rzeszy (wcześniej, bo w 1935 roku, Berlin objął kontrolę nad Zagłębiem Saary – stało się to w drodze plebiscytu). Zagłębia służyły nazistom przez prawie całą II wojnę światową. Ich znaczenie doskonale rozumieli alianci, którzy – niemalże od początku konfliktu – starali się zniszczyć z powietrza działające tam kopalnie i fabryki. Największy nalot na niemieckie zagłębia węglowe przeprowadzono 12 marca 1945 roku. Po porażce Niemiec w II wojnie światowej (i podziale tamtego kraju na dwa państwa) zagłębia Ruhry i Saary znalazły się pod kontrolą bloku państw zachodnich. W zimnowojennych planach wojskowych NATO zakładano, że to właśnie na te tereny skierowany będzie atak ZSRS. Niemieckie zagłębia o ogromnym znaczeniu odegrały zasadniczą rolę w utworzeniu Europejskiej Wspólnoty Węgla i Stali. Powstanie tej organizacji miało zapewnić transparentność w korzystaniu z bogactw naturalnych owego regionu, co z kolei uniemożliwiało przekierowanie jego sił i środków na ponowne zbrojenia. Z czasem organizacja ta przekształciła się w UE.



20049 - Miners Going into the Slopes, Hazleton, Pa., U. S. A.

Górnicy w kopalni węgla w Hazleton w USA w 1905 roku.

dysponowały one już mocą 25 MW. Po II wojnie światowej jak grzyby po deszczu zaczęły powstawać węglowe jednostki wytwórcze o mocy około 100 MW, a w następnych latach rynek zdominowały turbiny o mocy 200–800 MW. To one stanowiły fundament XX-wiecznej elektroenergetyki. Historia wykorzystania energii elektrycznej przez człowieka opisana jest w innym rozdziale, w tym warto podkreślić, że zasada się ona na węglu. Obecnie na świecie działa niemal 2400 elektrowni i elektrociepłowni węglowych wytwarzających moc łącznie około 2000 GW (dla porównania w całym polskim systemie elektroenergetycznym moc zainstalowana sięga 60 GW). Same Chiny dysponują mocą 1000 GW w elektrowniach węglowych. Węgiel dawał też ciepło, napędzał urządzenia w fabrykach, silniki statków i pociągów. Był również zasobem, dzięki któremu tworzone tysiące miejsc pracy, który kształtował całe społeczności. Warto w tym momencie wspomnieć, że dzieje węgla kamiennego to nie tylko opowieść o fundamencie energetyki – to także historia specyficznej i szalenie ważnej grupy społecznej, jaką stanowili górnicy.

Zawód górnika węglowego zaczął się profesjonalizować już w XVIII stuleciu, kiedy wydobycie tego surowca stało się bardziej wymagające – górnikom potrzebne były odpowiednie kompetencje i umiejętności, musieli też

charakteryzować się pewną wytrzymałością fizyczną i psychiczną potrzebną do pracy w bardzo trudnych i niebezpiecznych warunkach*. Jak wcześniej wspomniałem, zwiększenie zapotrzebowania na węgiel wymusiło konieczność sięgania po coraz to nowe i coraz to głębsze pokłady, co generowało problemy techniczne. Pewnych trudności przysparzało samo zlokalizowanie złóż węgla. Początkowo odbywało się to za pomocą obserwacji i kopania płytkich rowów lub szybów. W XVIII wieku powszechną praktyką stało się wiercenie dłutem umieszczonym na długim, sztywnym przewodzie, co pozwoliło prowadzić poszukiwania do głębokości około 100 metrów. Jak już wspomniałem we fragmencie dotyczącym tworzenia się złóż węglowych, surowiec ten zalegał w warstwach. Jego pokłady z powodu naturalnych procesów geologicznych były często przedzielone dość dużymi uskokami i nachylone pod określonym kątem. Ukształtowanie złóż zmuszało do dokładnego zaplanowania wydobycia, podczas którego złożo dzielono na mniejsze części. Pracę organizowano tak, aby zminimalizować ryzyko zawalenia się wyrobiska, przy maksymalnym pozyskaniu grubych sortymentów (czyli rodzajów), które

* Według szacunków niemieckich w połowie XIX wieku w górnictwie węgla kamiennego dochodziło rocznie do 2-3 wypadków śmiertelnych na tysiąc zatrudnionych.

nadawały się do użycia przemysłowego. Trudności wydobywcze nie dotyczyły węgla brunatnego, którego pokłady eksploatowano metodą odkrywkową, zdejmując wierzchnie warstwy ziemi i odsłaniając stopniowo złożę. Kolejny problem, przed którym stanęli górnicy, stanowiła woda, która zagrażała kopalniom. Odprowadzano ją za pomocą pomp – najpierw napędzanych siłą konnych kieratów, a niekiedy płynącymi w pobliżu kopalni rzekami lub strumieniami. Od XVIII wieku napęd pomp stanowiły coraz częściej maszyny parowe. Coraz rozleglejsze kopalnie stworzyły problem transportu urobku, ludzi i sprzętu. W pierwszych zakładach wydobywczych górnicy w rękach wynosili na powierzchnię pozyskany przez siebie urobek. W miarę poszerzenia szybów w kopalniach tworzone ciągi transportowe, którymi przemieszczano skrzynie o ładowności około 100 kg. Posiadały one płozy, dzięki którym mogły być ciągnięte przez ludzi lub zwierzęta* – pracę tę często wykonywały kobiety i dzieci.

W XVIII wieku w kopalniach upowszechniły się szyny, po których poruszały się wózki i platformy. Wtedy też na szerszą skalę zaprzęgnięto do pracy zwierzęta – przede wszystkim konie, rzadziej muły i osły. Kieraty konne służyły

* Por. J. Jaros, *Zarys dziejów górnictwa węglowego*, dz. cyt.

też powszechnie do wyciągania wydobytego węgla. W XIX wieku do tego celu coraz częściej wykorzystywano maszyny parowe, które szybko stały się głównym narzędziem transportu urobku z kopalni na powierzchnię. Istotną innowacją było wynalezienie w 1834 roku lin splatanych z drutów, które – będąc bardziej wytrzymałymi – zaczęły zastępować dotychczas stosowane liny z konopi natartych smołą.

Do oświetlenia kopalni używano początkowo wyłącznie lampek olejnych. Eksperymenty z innymi źródłami światła często kończyły się tragicznie – wyższa temperatura płomienia powodowała zapłon i wybuch metanu, który zalegał w wielu pokładach węgla. Dopiero w 1815 roku angielski chemik Humphry Davy wynalazł specjalną lampę gazową, która dawała więcej światła niż lampki olejne, a dzięki obudowie ze stalowej siatki, umożliwiającą podtrzymanie płomienia lampy i zmniejszającej ryzyko zapłonu gazów palnych w pokładach węgla, zwiększała bezpieczeństwo pracy. Jednakże górnicy często przynosili do miejsc wydobywanych własne źródła światła (przykładowo świeczki), co zwiększało ryzyko katastrof. Do takiego wydarzenia doszło na przykład w 1835 roku w kopalni Wallsend, gdzie wskutek wybuchu metanu zginęło 102 mężczyzn i chłopców*.

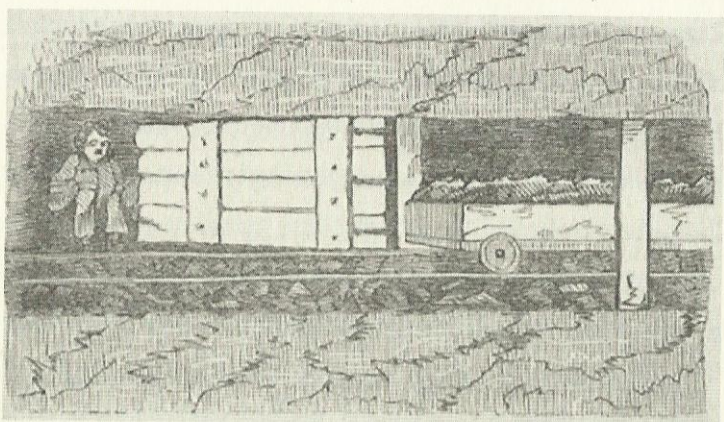
* Jedną z konsekwencji gwałtownego zwiększenia zapotrzebowania na węgiel była praca kobiet i dzieci w kopalniach. Prak-

Konstrukcję lampy Davy'ego kilkakrotnie ulepszano, ograniczając ryzyko wybuchu. Niektóre kopalnie miały też problem z wentylacją. Jeśli naturalny obieg powietrza, oparty na konwekcji, nie wystarczał, w zakładach instalowano miechy lub tak zwane beczki wentylacyjne, czyli swego rodzaju pompy powietrza. Mechaniczna wentylacja pojawiła się dopiero w II połowie XIX wieku.

tykę tę stosowano głównie w angielskich zakładach wydobywczych. Szychta kobiety i dziecka trwała zazwyczaj 11-12 godzin, a oferowana im płaca była mniejsza niż ta, którą otrzymywali mężczyźni. Kobiety pracowały najczęściej przy wywozie węgla na powierzchnię. Dzieci odgrywały różne role, zależne od ich wieku i wzrostu. W kopalniach zatrudniano nawet trzylatki – wykorzystywano je jako siłę pociągową do transportu urobku lub jako operatorów systemów wentylacyjnych. Starsze dzieci (10-14 lat) były często woźnicami zaprzęgów konnych transportujących urobek. Sprawa ta została zauważona przez brytyjską opinię publiczną w 1838 roku, kiedy to w kopalni Huskar doszło do tragicznego wypadku – gwałtowna ulewa spowodowała zalanie jednego z szybów wentylacyjnych kopalni i śmierć 26 dzieci. Najmłodsze z nich (dziewczynka) miało zaledwie 8 lat. Tuż po tragedii królowa Wiktoria zarządziła śledztwo dotyczące pracy dzieci i kobiet w przemyśle wydobywczym, powoławszy w tym celu specjalną komisję, na czele której w 1840 roku stanął lord Ashley. Po dwóch latach przygotowała ona ilustrowany dokument dokładnie opisujący fatalne warunki pracy kobiet i dzieci w brytyjskich kopalniach. Raport komisji lorda Ashleya zaowocował w 1842 roku specjalnym aktem prawnym regulującym zatrudnienie w przemyśle wydobywczym (Mines and Collieries Act). Rzeczona ustawa stanowiła, że kopalnie nie mogą zatrudniać kobiet i dzieci do 10. roku życia do pracy pod ziemią. Przyjęcie nowego prawa próbował (bezsukcesyjnie) zablokować Charles William Vane, lord Londonderry, który był przemysłowcem górniczym.

Zarządzanie kopalniami tworzyło też pewne trudności organizacyjno-gospodarcze. Mniejsze zakłady działały często w formie gwarectw, czyli spółek, które organizowali sami górnicy. Powszechne były także kasy brackie lub puszkowe, czyli oddolnie tworzone instytucje ubezpieczeniowe, oferujące wsparcie finansowe górnikom, którzy doświadczyli wypadku, lub ich rodzinom. W większych zakładach fundusz ubezpieczeniowy był obowiązkowy i składki na jego rzecz potrącano z każdej pensji.

II połowa XIX wieku przyniosła górnikom - najpierw w Wielkiej Brytanii, potem w innych państwach - poprawę warunków pracy. Uregulowano maksymalny czas trwania szychty, ograniczono pracę dzieci i młodzieży, wprowadzając wyższe granice wieku zatrudnienia, poszerzono obowiązki kontrolne, dopuszczając do nich przedstawicieli górników. W siłę rosły górnicze związki zawodowe, takie jak The Miners Association (założony w 1858 roku), South Wales Miners' Federation (1898), Deutsche Bergarbeiter-Verband (1898) czy United Mine Workers of America (1890). Organizacje te pomogły między innymi poszerzyć opiekę ubezpieczeniową nad górnikami oraz podwyższyć wynagrodzenia. Wokół kopalni rosły też górnicze osiedla mieszkaniowe.



Ta ilustracja przedstawiająca dziecko pracujące w kopalni została pierwotnie opublikowana w raporcie dotyczącym zatrudnienia dzieci w kopalniach Children's Employment Commission (Mines) 1842.

W hermetycznym środowisku z ustaloną hierarchią pielęgnowano własne tradycje, zwyczaje, symbole, szeroko pojętą kulturę, z czasem tworzone orkiestry górnicze. Pracownicy zakładów wydobywczych nosili charakterystyczny strój, który wyewoluował w mundur. Wśród górników katolickich powszechny był kult Świętej Barbary, patronki stanu górniczego. Wiązało się to z podaniem o śmierci dziewicy, którą miał zabić przez ścięcie mieczem jej własny ojciec poganin w ramach kary za to, że przyjęła chrzest. Dlatego też święta została uznana za patronkę dobrej śmierci – stąd popularność świętej wśród górników, nieustannie pracujących z narażeniem życia. Dzień wspomnienia Świętej Barbary – 4 grudnia – jest też dniem święta górników (Barbórki).

Figura górnika niosła z sobą coraz większy ładunek kulturowy w państwach o prężnych sektorach wydobywczych. Trud górniczej pracy, nieustanne niebezpieczeństwo oraz wkład w rozwój gospodarczy sprawiały, że górnicy zyskiwali szczególne miejsce w przestrzeni publicznej, polityce poszczególnych rządów, a także w propagandzie. Dobrym przykładem tego jest sowiecki mit o Stachanowie, będący czymś w rodzaju komunistycznej legendy mającej motywować do wytężonej pracy i przekraczania własnych możliwości.

Oficjalna wersja mówi, że urodzony w 1906 roku sowiecki górnik Aleksiej Stachanow* w nocy z 30 na 31 sierpnia 1935 roku z własnej inicjatywy samodzielnie pobił rekord wydobywania węgla w kopalni Centralnaja-Irmino. W ciągu jednej zmiany wydobył 102 tony węgla, co oznaczało wykonanie 1475% normy. W nagrodę za ten wynik dostał od władz kopalni dom, konia z rzędem, bryczkę i premię, potem górnika ściągnięto do Moskwy, gdzie gratulacje złożył mu sam Józef Stalin. Od nazwiska Stachanowa ukuto termin „stachanowiec/stachanowcy”, którym określano przodowników pracy. Tyle propaganda rozpowszechniana latami w krajach bloku sowieckiego, ale prawda wyglądała zupełnie inaczej. Przede wszystkim owo bicie rekordu nie było pomysłem Stachanowa. Z inicjatywą wyszedł szef organizacji partyjnej w kopalni Centralnaja-Irmino Konstantin Pietrow. Zakład borykał się bowiem z ogromnymi problemami wydobywczymi – był skrajnie nieefektywny, przez co jego kierownictwo miało zostać zesłane do obozu pracy. Pietrow uznał, że reżim nie postąpi tak z bohaterami. I tak powstał pomysł bicia rekordu. Kierownictwo Centralnaja-Irmino nie było do

* Por. <https://energetyka24.com/gornictwo/falszywy-rekord-gornika-stachanowa-czyli-o-sowieckiej-propagandzie-sukcesu-komentarz> [dostęp: 18.08.2023].

niego przekonane, obawiano się wypadku. Na koncepcję Pietrowa negatywnie patrzyli też szeregowi pracownicy zakładu, dla których każdy nowy rekord oznaczał zwiększenie norm. Pomysł jednak ostatecznie zaakceptowano, rozpoczęto szukanie chętnego. Na ochotnika zgłosił się Stachanow. Waga tego zadania była zbyt duża, aby pozostawić je wyłącznie własnym siłom górnikowi. Dlatego Stachanow uzyskał potężne wsparcie w realizacji swego zadania. Bicie rekordu miało nastąpić w nocy, gdy w kopalni nie pracowano. Do pomocy Stachanowowi skierowano aż pięciu górników, którzy między innymi stemplowali chodnik, wywozili wydobyty węgiel i oświetlali przodek, gdzie pracował główny bohater całego wydarzenia. Dzięki temu przyszły rekordzista był znacznie odciążony w swojej pracy, skupił się tylko na fedrowaniu. A mimo to cały urobek został zaliczony na konto tylko jednego górnika – oczywiście Stachanowa. Oznacza to, że ostateczny wynik był mocno naciągany, uczciwie należałoby podzielić go przez 6. Jednakże takimi „szczegółami” nikt się wtedy nie przejmował – w komunikacie o wyniku Stachanowa miał wybrzmieć rekord i tak właśnie było. Po zakończeniu zmiany Stachanow musiał się ukrywać przez pewien czas w swoim domu, gdyż przed kopalnią czekali pracownicy przeciwni nowym normom,

zawyżonym przez jego rekord. Jednakże w tamtym czasie sowieckie propagandowe media zrobiły już swoje. O wyczynie górnika napisała między innymi „Prawda”, przeinaczając jego imię – Stachanowowi nadano przy chrzcie imię Andriej, lecz w gazecie nazwano go Aleksiejem. Potem, na osobiste polecenie Stalina, we wszystkich dokumentach Stachanowa zmieniono jego imię właśnie na Aleksiej. „Prawda” nie mogła przecież kłamać. Górnik z Centralnaja-Irmino na własnej skórze doświadczył zawirowań politycznych, w jakich tonął ZSRS po śmierci Stalina: za Chruszczowa popadł w niełaskę, rehabilitował go Breżniew. Sam Stachanow zmagał się z chorobą alkoholową. Zmarł 5 listopada 1977 roku w ośrodku dla nerwowo chorych w Doniecku, gdzie leczył się po potężnym wylewie.

Górnicy odcisnęli swoje piętno także na historii Polski. II Rzeczpospolita była jednym z większych producentów węgla na świecie – przed wielkim kryzysem gospodarczym na początku lat 30. XX wieku wydobyte sięgało 46 milionów ton węgla kamiennego rocznie, co dawało piąte miejsce w globalnym rankingu państw węglowych. Surowiec ten był jednym z głównych towarów eksportowych odrodzonej Polski, sprzedawano go przede wszystkim do Niemiec. Żeby zwiększyć potencjał węglowego handlu

zagranicznego, w gdańskim porcie zbudowano tak zwany basen górniczy. Na sprzedaż węgla orientował się także budowany port w Gdyni. Załamanie światowej gospodarki przyniosło polskiemu górnictwu węglowemu regres, z którego sektor zaczął wychodzić dopiero tuż przed wybuchem II wojny światowej. Po 1945 roku węgiel kamienny stał się najważniejszym surowcem energetycznym Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej (PRL), służącym zarówno elektroenergetyce, przemysłowi, jak i gospodarstwu domowemu. Przez cały okres istnienia PRL węgiel był też jej najważniejszym towarem eksportowym, dostarczając – w pierwszych latach po II wojnie światowej – około 80% wpływów dewizowych*. W latach 60. i 70., a zwłaszcza za czasów rządów Edwarda Gierka, węgiel stał się podstawą surowcową dla planów elektryfikacji Polski. W latach 80. górnikom przysługiwały nie tylko szczególne przywileje płacowe (na przykład dodatek 300% za pracę w soboty i niedziele), ale także możliwość robienia zakupów w specjalnych sklepach (tak zwanych geweksach, czyli w swoistych górniczych odpowiednikach peweksów), gdzie były dostępne towary trudno osiągalne w normalnym handlu (na przykład pralki automatyczne, kuchenki, telewizory). Mimo to polscy

* Por. J. Kaliński, Z. Landau, *Gospodarka Polski w XX wieku*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2003.

górnicy stanowili trzon ruchu solidarnościowego – w ramach sprzeciwu wobec wprowadzenia w Polsce stanu wojennego w 1981 roku załogi wielu kopalni rozpoczęły strajk. Komunistyczny reżim zdecydował się użyć przeciwko protestującym siły – do starć doszło w kopalni węgla „Manifest Lipcowy”, gdzie pluton specjalny Zmotoryzowanych Odwodów Milicji Obywatelskiej (ZOMO) ranił 4 górników. Prawdziwa tragedia rozegrała się w kopalni „Wujek”, którą spacyfikowały oddziały ZOMO i wojska – zginęło 9 górników. W ramach represji po protestach aresztowano i internowano wielu pracowników kopalni, w samej tylko kopalni „Piaś” zwolniono około 2 tysięcy osób.

Zmierzch europejskiego przemysłu węglowego zaczął się tam, gdzie zrodziła się ta gałąź gospodarki, czyli w Wielkiej Brytanii. W 1984 roku na Wyspach Brytyjskich wybuchł największy powojenny strajk – strajk górników. Jego podłożem była głęboka redukcja zatrudnienia w sektorze wydobywczym – od końca lat 60. do początku lat 80. XX wieku w Wielkiej Brytanii zatrudnienie w górnictwie węglowym skurczyło się z poziomu około 700 tysięcy do 200 tysięcy etatów. Wynikało to przede wszystkim z wyeksploatowania złóż węgla w Anglii i Szkocji, czemu nie można się dziwić – wszak korzystano z tych pokładów od ponad dwieście lat. Brytyjskie górnictwo było intensywnie dotowane ze

środków państwowych, lecz nawet to nie mogło powstrzymać jego upadku. Kopalnie generowały straty, a cena sprzedawanego przez nie węgla była wyższa o około 25% od cen na rynku międzynarodowym. W marcu 1984 roku rząd konserwatywnej premier Margaret Thatcher ogłosił, że zamierza ograniczać wsparcie państwa dla górnictwa, co wiązało się ze zmniejszeniem zatrudnienia w sektorze o około 20 tysięcy etatów. W planach była także likwidacja kopalni. W odpowiedzi na to brytyjscy górnicy zastrajkowali w zmasowany sposób. Dochodziło do potężnych starć z policją – takich jak to w koksowni Orgreave, gdzie około 5000 protestujących górników stanęło naprzeciw 5000 policjantów. Protestujących rozgoniło konne ogniwo policji. Rannych zostało ponad 120 osób. Ogółem w czasie strajków policja zatrzymała ponad 11 tysięcy górników, z czego 8,3 tysiąca usłyszało zarzuty, przy czym 150–200 osób skazano na karę więzienia, a co najmniej 9000 pracowników kopalni zwolniono z pracy. Strajk zakończył się w 1985 roku. W roku 2019 brytyjska produkcja węgla kamiennego wyniosła około 2 milionów ton, co oznacza, że Brytyjczycy wrócili do poziomów wydobywczych z roku 1700*.

* <https://www.gov.uk/government/statistical-data-sets/historical-coal-data-coal-production-availability-and-consumption> [dostęp: 18.08.2023].

W XX wieku Europa, będąca matecznikiem węgla, rozpoczęła proces odchodzenia od tego surowca. Najlepsze złoża węglowe były już wyczerpane, a europejska gospodarka nie potrzebowała już tyle energii co niegdyś. W szczególnie interesujący sposób przebiegał ten proces w Niemczech. Po II wojnie światowej Republika Federalna Niemiec (RFN) odbudowała się gospodarczo właśnie dzięki surowcowi węglowemu. To ten nośnik energii stał za *Wirtschaftswunder*, czyli niemieckim cudem gospodarczym z lat 50. i 60. Wtedy też gospodarka niemiecka odnotowała *peak coal* – w 1958 roku wydobycie węgla kamiennego sięgnęło 150 milionów ton, a pracę w górnictwie znajdowało około 500 tysięcy osób. Od tamtego momentu rozpoczął się schyłek niemieckiego przemysłu węglowego. Zmniejszenie wydobycia po 1958 roku szło w parze z redukcją etatów, co – już w 1963 roku – owocowało serią strajków. Władze RFN po rozmowach z górnikami powołały do życia koncern RAG (dawniej Ruhrkohle AG), który skupił w swoim ręku kopalnie węgla kamiennego nadal przynoszące zyski. Pozostałe stopniowo zamykano, lecz żeby nie wywoływać napięć społecznych, pracownikom likwidowanych zakładów oferowano wsparcie doradców zawodowych, możliwości przekwalifikowania i preferencyjne warunki emerytalne.

Aby sfinansować ów proces, rząd w Bonn wprowadził – wliczoną w rachunki za energię elektryczną – opłatę wnoszoną przez gospodarstwa domowe (*Kohlepfennig**). Wynosiła ona średnio 8% wartości rachunku, a pozyskiwane dzięki niej wpływy były przeznaczane na potrzeby restrykturyzacji górnictwa**. W ciągu lat 1968–1998 liczba niemieckich kopalni węgla brunatnego zmniejszyła się prawie dziesięciokrotnie (z około 100 do zaledwie 11), a liczba zatrudnionych w górnictwie – pięciokrotnie. W 2007 roku Niemcy zdecydowali o zamknięciu dwóch ostatnich kopalni węgla kamiennego. Stało się to w grudniu 2018 roku. Pieczę nad terenami pogórnicznymi, ale także i tradycjami górników sprawuje obecnie specjalna Fundacja RAG.

Odchodzenie Niemiec od wydobycia węgla brunatnego odbywa się mniej spokojnie. Wynika to z natury pozyskiwania tego surowca. Kopalnie węgla brunatnego, w których pracują potężne kombajny fedrujące, to odkrywki, czyli – mówiąc obrazowo – wielkie dziury w ziemi.

* Z. Jakli, *Vom Marshallplan zum Kohlepfennig. Grundrisse der Subventionspolitik in der Bundesrepublik Deutschland 1948–1982*, Westdeutscher Verlag, Bonn 1990.

** *Nota bene* bardzo podobny mechanizm wsparcia działa w Niemczech obecnie – chodzi o EEG Umlage, czyli opłatę wkomponowaną w rachunki za energię elektryczną, która służy do wspierania źródeł odnawialnych.

Żeby wydobyć było możliwe, kopalnie muszą się wciąż rozrastać, pochłaniając coraz to nowe tereny. Prowadzi to często do wysiedleń, co z kolei powoduje społeczne napięcia (tych bardzo dużo dostarcza już samo stosowanie węgla w energetyce). Takie właśnie problemy pojawiły się w Niemczech, gdy działająca od 1978 roku kopalnia Tagebau Hambach w Nadrenii Północnej-Westfalii zaczęła „pożerać” rosnący nieopodal las Hambach. Od 2012 roku przeciwstawiali się temu aktywiści klimatyczni i środowiskowi. Ich demonstracje z czasem zaczęły przybierać na sile. W lipcu 2015 roku grupa 1200 działaczy wtargnęła na teren kopalni Hambach i opanowała maszynę wydobywającą węgiel, zablokowała też wewnętrzną kolejkę zakładu (*Hambachbahn*). Na polecenie władz landu oraz zarządu kopalni na miejsce protestu wysłano kilkadziesiąt radiowozów, pojazdy opancerzone, helikoptery oraz prywatną firmę ochroniarską ze specjalnie wyszkolonymi psami. Zatrzymano około 800 osób. W 2018 roku aktywiści zaprotestowali ponownie, między innymi zajmując miejsca na hamakach i platformach rozwieszanych w koronach drzew lasu Hambach. Konstrukcje te były demontowane przez policję. Podczas jednej z takich akcji doszło do tragicznego wypadku: 27-letni dziennikarz i bloger Steffen Meyn spadł z platformy zawieszanej

na wysokości 15 metrów. Nie przeżył upadku. 6 października 2018 roku w pobliżu lasu Hambach odbyła się demonstracja *Wald retten-Kohle stoppen* (niem. Uratuj las - zatrzymaj węgiel), w której wzięło udział 50 tysięcy osób. Protesty organizowano także w miejscowości Immerath, która miała zostać zburzona pod rozbudowę kopalni węgla brunatnego Garzweiler. Aktywiści skupili się wtedy wokół XIX-wiecznego budynku kościoła pod wezwaniem Świętego Lamberta. Kiedy świątynia była rozbierana, protestujący ustawili przed nią napis *End Coal* (ang. Skończmy z węglem).

Choć w 2019 roku niemiecki rząd - w ramach pracy tak zwanej komisji węglowej - podjął decyzję o zakończeniu wykorzystywania węgla w energetyce najpóźniej do 2038 roku, to jednak taki termin wciąż budzi kontrowersje - przede wszystkim z uwagi na to, że Berlin woli w pierwszej kolejności zamknąć swoje bezemisyjne elektrownie jądrowe (ostatnie trzy takie jednostki zostały w Niemczech wyłączone 15 kwietnia 2023 roku), niż wcześniej zrezygnować z energetyki węglowej.

Abstrahując od przebiegu niemieckiej transformacji energetycznej, widać wyraźnie, że historie z Niemiec pokazują, jak duże emocje wiążą się obecnie z wykorzystywaniem węgla w Europie. Surowiec ma już za sobą swoje

dni chwały – od dawna nie kojarzy się z dobrobytem czy rozwojem; obecnie węgiel jest synonimem niszczycielskiego wpływu człowieka na klimat i środowisko. Dlatego też coraz więcej krajów rezygnuje z jego stosowania, instytucje finansowe są coraz mniej skłonne do kredytowania czy ubezpieczania projektów węglowych, a światowa polityka energetyczna coraz bardziej podkreśla tempo dekarbonizacji. Odejście od węgla nie będzie jednak proste – trudno szybko zrezygnować z paliwa, które pomogło człowiekowi zbudować nowoczesną cywilizację.

Zmierzch węgla widać już jednak dość wyraźnie w państwach Zachodu. W ciągu ostatnich 7 lat węgiel był wypierany z energetyki USA. Nawet prowęglowa retoryka prezydenta Donalda Trumpa nie była w stanie spowodować renesansu tego surowca. W 2022 roku z węgla wygenerowano 19,5% amerykańskiej energii elektrycznej. Jeszcze w 2015 roku było to 34%, a w 2005 – 51%*. Z kolei w UE węgiel kamienny wydobywa się tylko w dwóch państwach: w Polsce i w Czechach**. Drugi z wymienionych krajów zamierza zlikwidować swój przemysł górniczy

* Por. <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=26232> [dostęp: 18.08.2023]; <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=427&t=3> [dostęp: 18.08.2023].

** Por. <https://euracoal.eu/info/euracoal-eu-statistics> [dostęp: 18.08.2023].

do 2033 roku, pierwszy - oficjalnie do roku 2049. Oficjalnie - bo w praktyce dzień ten może nadejść znacznie szybciej, o czym świadczy chociażby kryzys węglowy z roku 2022, uwidaczniający systemową niewydolność kopalni w Polsce. Duża część polskich zakładów wydobywających węgiel kamienny na potrzeby energetyki jest w stanie trwałej nierentowności. Kopalnie te funkcjonują praktycznie dzięki kroplówce finansowej od państwa - w ciągu ostatnich 30 lat polski podatnik dorzucił się do sektora węglowego (wydobywczego i generacyjnego) kwotą 260 miliardów złotych. Za takie pieniądze można sfinansować budowę elektrowni generującej około 13 GW mocy w energetyce jądrowej. Ze względu na błędy w zarządzaniu, niewykorzystane szanse z czasów koniunktury węglowej (2002-2011) oraz nadmierne ustępstwa wobec górniczych związkowców polski sektor węglowy już kilkakrotnie stawał na krawędzi upadku. Do tego trzeba dodać coraz większe problemy geologiczne - przykładowo, położone na Śląsku kopalnie węgla kamiennego są stosunkowo głębokie, zametanowione, w dużej mierze dostarczają surowca średniej jakości. Połączenie owych czynników sprawiło, że jeszcze przed 2022 rokiem i kryzysem energetycznym wywołanym rosyjską agresją na Ukrainę w niektórych sytuacjach bardziej opłacało się

sprowadzić do Polski węgiel zza granicy, niż wydobyć go w kraju. Prawie żadna z ekip rządzących w Warszawie po 1989 roku nie była jednak w stanie skutecznie zreformować górnictwa* - na przeszkodzie stały przede wszystkim sprawnie działające i wpływowe związki zawodowe górników. Wiele wskazuje na to, że Polska będzie ostatnim krajem UE korzystającym z węgla w energetyce.

Wydobycie węgla kamiennego w 2022 w UE roku wyniosło 55 milionów ton. W UE na szerszą skalę pozyskuje się węgiel brunatny w Niemczech, Polsce, Czechach, Bułgarii, Rumunii, Grecji, Słowenii i Słowacji oraz na Węgrzech. W 2022 roku w UE wydobyto 294 miliony ton węgla brunatnego. Jednakże to wszystko są wartości śladowe w stosunku do niedawnych (z 2012 roku) wyników w tym zakresie: 128 milionów ton węgla kamiennego, 433 miliony ton węgla brunatnego. Choć z węgla rezygnuje się w Europie i w USA, to jednak świat wciąż polega na czarnych diamentach, zwiększając zużycie tego surowca. Ludzkość cały czas wygląda tak zwanego *peakcoal*, czyli punktu największego zapotrzebowania na węgiel. Wielu analityków sądziło, że miał on już miejsce, lecz rekord z roku 2022 przekreślił te szacunki. Od 2021 roku węgiel

* Chlubnym wyjątkiem był w tym przypadku rząd Jerzego Buzka, z wicepremierem Januszem Steinhoffem.

zastępował bowiem coraz droższy gaz. Rosjanie już w sierpniu 2021 roku zaczęli ograniczać podaż gazu na rynek europejski, a po wybuchu wojny na Ukrainie i przerwaniu dostaw rosyjskich ceny tego surowca wprost wystrzeliły. Sytuacja ta otworzyła drzwi dla węgla, który był dostępniejszy i tańszy.

Historia węgla pokazuje, jak wokół surowca energetycznego potrafi wyrosnąć cała kultura. To także opowieść o tym, jak ujarzmienie jednego źródła energii może przeniknąć ludzką rzeczywistość. Węgiel niósł ze sobą jednak nie tylko światło, ciepło i ruch. Surowiec ten przysporzył ludziom również wielu cierpień. Nie chodzi tylko o pracowników kopalni, którzy ginęli przy jego wydobyciu. Samo spalanie węgla wiązało się z wytwarzaniem szkodliwych substancji. Jak wspominałem na początku tego rozdziału, spalanie węgla to największe pojedyncze źródło emisji dwutlenku węgla do atmosfery, za którym stoi człowiek. Do wpływu tej substancji na klimat jeszcze wrócimy. Gazy cieplarniane nie są jedynym produktem spalania węgla. W procesie tym tworzą się także niebezpieczne zanieczyszczenia: czad (czyli tlenek węgla, niezwykle niebezpieczny dla ludzi), benzo(a)piren (wielopierścieniowy węglowodór aromatyczny powodujący choroby nowotworowe) i związki siarki (szalenie

niebezpieczne dla układu oddechowego). Już w II połowie XVIII wieku węgiel (a konkretnie substancje zawarte w sadzy) wywoływał nowotwory moszny u brytyjskich kominarzy. Przyczyniał się do tego benzo(a)piren, do dziś wskazywany jako jeden z głównych części składowych smogu, czyli widocznej formy zanieczyszczeń powietrza.

W pierwszej dekadzie XX wieku w Wielkiej Brytanii zaczęła działać Liga Walki ze Smogiem (Smoke Abatement League of Great Britain), która przedstawiała wyliczenia obrazujące, jak spalanie węgla i innych paliw wpływa na ludzkie zdrowie oraz życie. Jednym z najtragiczniejszych epizodów związanych z powietrzem zanieczyszczonym przez spaliny węgla był tak zwany Wielki Smog Londyński*. Wczesnym rankiem 5 grudnia 1952 roku mieszkańcy Londynu zaczęli po prostu umierać. Służby medyczne zanotowały ponadnormatywną liczbę zgonów, zwłaszcza ludzi bardzo młodych i starszych. Przyczyną były przede wszystkim problemy z drogami oddechowymi. Zwiększona umieralność utrzymywała się do 9 grudnia. Niemniej jednak w stolicy Wielkiej Brytanii nie odnotowano żadnych przypadków paniki. Londyn umierał

* Por. <https://energetyka24.com/klimat/smog-smierci-66-lat-temu-w-londynie-zanieczyszczone-powietrze-zebralo-tragiczne-zniwo> [dostęp: 18.08.2023].

w ciszy, szczelnie otulony czymś, co jego mieszkańcy brali za gęstą mgłę. W rzeczywistości ludzie oddychali silnie toksyczną mieszaniną powietrza i związków siarki, która niszczyła ich płuca, skazując ich na śmierć. Wielki Smog Londyński powstał z szeregu różnych czynników. Na przełomie listopada i grudnia 1952 roku na południu Wysp Brytyjskich utrzymywały się dość niskie temperatury. Skłoniło to mieszkańców angielskiej stolicy do spalania większych ilości opału, przede wszystkim słabej jakości węgla. Londyńczycy dysponowali głównie wysoce zasiarczonym surowcem, gdyż lepszej jakości węgiel eksportowano. Warto zaznaczyć, że miasto od stuleci miało problemy z odpowiednią wentylacją – londyński smog to zjawisko znane już od XIV wieku. Nie bez winy były także działające w pobliżu Londynu elektrownie węglowe (między innymi w Fullham, Battersea i Greenwich). Jednostki te – w odróżnieniu od obecnie działających – miały nieskuteczne systemy oczyszczające, przez co do powietrza dostawały się szkodliwe związki siarki. Dodatkowym emitentem szkodliwych substancji był też miejski transport, który składał się przede wszystkim z taboru autobusów napędzanych silnikami diesla. Po Londynie poruszały się również węglowe lokomotywy. Zwiększona emisyjność nałożyła się na warunki pogodowe: 4 grudnia 1952 roku


nad Londynem pojawił się układ wyżowy, niosący ze sobą wyjątkowo gęstą mgłę (która z czasem, w miarę łączenia się z zanieczyszczeniami, stała się smogiem), a towarzyszył mu brak wiatru. Od momentu gdy trująca chmura zawisła nad Londynem, to jest przez parę tygodni grudnia 1952 roku i stycznia roku następnego, brytyjskie służby medyczne odnotowały 4000 zgonów spowodowanych bezpośrednio wdychaniem szkodliwych substancji. W lutym 1953 roku liczbę ofiar szacowano już na 6000. Współczesne szacunki wskazują, że w wyniku Wielkiego Smogu Londyńskiego zmarło 10-12 tysięcy osób, a około 200 tysięcy wymagało leczenia. Powstające wskutek spalania węgla zanieczyszczenia powietrza są problemem także i dziś – głównie w potężnych aglomeracjach Azji, ale także i w Polsce, gdzie spala się około 90% węgla używanego w UE do indywidualnych celów grzewczych. Według szacunków z powodu zanieczyszczenia powietrza spowodowanego między innymi spalaniem węgla w Polsce rocznie umiera przedwcześnie około 40 tysięcy osób.

Kiedy skończy się epoka węgla? Bardzo trudno odpowiedzieć na to pytanie. Niełatwo o konkretne prognozy, choć ogromne zapotrzebowanie na węgiel w ostatnich miesiącach i jego rekordowe zużycie dają się jednak wytłumaczyć kryzysem energetycznym, który jest zjawiskiem

przejściowym. Przyszłość węgla najprawdopodobniej rozstrzygnie się na rynkach azjatyckich, zwłaszcza państw takich jak Chiny czy Indie. To właśnie gospodarki tych krajów określą tempo, w jakim ludzkość pożegna się z surowcem węglowym.


O ile surowiec, jakim jest węgiel, może zostać dość łatwo zastąpiony w systemach elektroenergetycznych (i to się dzieje, patrząc na dane z krajów UE, USA czy też Chin), o tyle znacznie większym wyzwaniem jest znalezienie alternatywnego źródła energii w przemyśle, na przykład metalurgicznym. Tam węgiel koksowy wciąż rozdaje karty. Natomiast historia pokazuje, że ludzkość – w odpowiednich warunkach – potrafi bardzo szybko znaleźć substytut dla danego nośnika energii.

Dlaczego boimy się elektrowni jądrowych?
Jest się czego bać?



Ludzie boją się tego, czego nie mogą zobaczyć, i tego, czego nie rozumieją – do takich zjawisk należy zaliczyć promieniotwórczość, która jest związana z produkcją energii w elektrowniach jądrowych. Świata jednak nie trzeba się bać – trzeba go rozumieć.

A jak jest z tym promieniowaniem? Jaka dawka jest szkodliwa dla zdrowia? Jaka wiąże się z chorobą popromienną?



Poważne problemy zdrowotne występują, gdy przekroczymy dawkę 1 siwerta (Sv) – wtedy pojawia się tzw. choroba popromienna. Dopuszczalną przez polskie prawo roczną dawką promieniowania jest 1 milisiwert (mSv), czyli 1/1000 siwerta. To jednak duże dawki – dlatego też przy omawianiu promieniowania używamy jednostki mikrosiwert (μSv), która odpowiada 1/1000000 siwerta. Dla przykładu: zjedzenie banana odpowiada przyjęciu dawki 0,1 μSv ze względu na zawarty w nim promieniotwórczy potas-40.



*„- Potrzeba tylko trochę plutonu.
- Może w 1985 można go kupić w każdym sklepie, ale w 1955 to raczej rzadki towar”.*

Fragm. dialogu z filmu
Powrót do przyszłości

Energetyka jądrowa jest niekiedy - zupełnie niesłusznie - określana przez swoich przeciwników mianem przestarzałej technologii. Abstrahując od sensowności (czy bezsensowności) tego zarzutu, warto podkreślić, że jest to najmłodsza spośród technologii energetycznych, które wykorzystuje człowiek. I jednocześnie mimo że najmłodsza, wcale nie jest przestarzała, wręcz przeciwnie - wciąż rozwijana i usprawniana. Powstają nowe generacje reaktorów i ich osnowy technicznej, opracowuje się rozwiązania, aby pozyskiwanie energii z jąder atomów było tańsze, prostsze i efektywniejsze. Trzeba jednak odnotować,

że to nie ludzie zbudowali pierwsze reaktory jądrowe na Ziemi. Nie, nie jest to wstęp do teorii spiskowej na temat starożytnych kosmitów. Po prostu z badań archeologicznych wynika, że pierwsze reaktory jądrowe na świecie powstały dwa miliardy lat temu w sposób całkowicie naturalny na terytorium dzisiejszego Gabonu. W 1972 roku francuski fizyk Francis Perrin, który badał próbki z gabońskiej kopalni uranu położonej w okolicach miejscowości Oklo*, natrafił na istotne anomalie w zawartości izotopu uranu 235. Normalna koncentracja tej substancji w próbkach powinna wynieść 0,72%, podczas gdy w materiale z Gabonu było to zaledwie 0,60%. Taka różnica zaalarmowała francuską Komisję Energii Atomowej (KEA), która wszczęła w tej sprawie dochodzenie. Podejrzewano bowiem, że ubytek może być spowodowany wykorzystaniem złóż do produkcji broni jądrowej. Badania prowadzone przez Francuzów ujawniły kolejne anomalie w zakresie zawartości neodymu i rutenu oraz jeszcze większych ubytków uranu 235. Wyniki dotyczące tego trzeciego pierwiastka zasugerowały, że przyczyną zmian może być działanie w odległej przeszłości naturalnego reaktora jądrowego. Taki też wniosek zaprezentowała KEA

* Por. <https://energetyka24.com/atom/pierwszy-na-ziemi-reaktor-jadrowy-powstal-2-miliardy-lat-temu-w-afryce> [dostęp: 18.08.2023].

25 września 1972 roku. Jak doszło do utworzenia reaktora w Oklo? Powstał on dzięki nałożeniu się na siebie pewnych czynników, przede wszystkim odpowiedniej koncentracji uranu (a więc materiału rozszczepialnego) oraz występowaniu moderatora (czyli substancji spowalniającej szybkie neutrony, co pozwala wywołać łańcuchową reakcję jądrową). Co ważne, cały ten układ musiał się skupić na względnie niewielkiej powierzchni. W Oklo udało się osiągnąć wysoką koncentrację uranu 235 przy jednoczesnym braku pierwiastków, które zakłócałyby pracę takiego naturalnego reaktora, wychwytyjąc neutrony (czyli na przykład kadmu). Moderatorom była woda, która docierała do złoża uranu. Całość miała odpowiednio duże rozmiary, aby podtrzymywać reakcję. Dzięki temu na terenie przyszłej gabońskiej kopalni powstało kilka reaktorów o mocy około 100 kW, czyli dorównującej mocy małych reaktorów wykorzystywanych przez ośrodki badawcze na całym świecie. Co ciekawe, możliwość występowania takich naturalnych reaktorów przewidział już w 1956 roku Paul Kazuo Kuroda w artykule opublikowanym na łamach „Journal of Chemical Physics”*. Ale zostawmy Oklo – skupmy się na tym, jak człowiek

* Por. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1945-5100.2001.tb01833.x> [dostęp: 18.08.2023].

opanował pozyskiwanie energii z atomu mocą swojego umysłu.

Ludzie żyjący i przychodzący na świat w XXI wieku mają wielkie szczęście, że poprzedzające ich pokolenia wykonały kawał dobrej roboty, badając i opisując rzeczywistość. Dla przykładu, dziś uczniów szkół podstawowych uczy się, że atom złożony jest z jądra zawierającego proton i neutrony o różnym ładunku elementarnym, które otoczone jest przez ujemnie naładowane elektrony w liczbie odpowiadającej liczbie protonów. Tak zarysowany wizerunek atomu jest nie tylko elementem nauczania, ale wręcz częścią popkultury: świadczy o tym chociażby postać doktora Manhattana z komiksu *Watchmen* Alana Moore'a, który na czole nosi model atomu wodoru: jądro i krążący wokół niego jeden elektron. Żeby ta wiedza stała się tak powszechna (jest dziś dostępna na wyciągnięcie ręki w przystępnej formie, a współcześni traktują ją jako coś naturalnego), jak jest obecnie, trzeba było wielu lat pracy genialnych specjalistów. To dzięki nim ludzkość nie tylko poznała sekrety materii, ale także nauczyła się korzystać z ukrytej w niej energii.

Historię ujarzmiania energii jądrowej przez człowieka można odmierzać od roku 1789, kiedy to niemiecki chemik Martin Heinrich Klaproth odkrył pierwiastek

nazwany na cześć jednej z planet uranem. Co ciekawe, pierwiastek ten był wykorzystywany jeszcze w czasach rzymskich do barwienia szkła na charakterystyczny zielony kolor. Szklane elementy z niewielką (dochodzącą do około 1%) zawartością tlenku uranu odnaleziono podczas wykopalisk prowadzonych przez archeologów z uniwersytetu w Oksfordzie na terenie Zatoki Neapolitańskiej. Dlaczego uran jest tu tak ważny? To podstawowe paliwo dla działających obecnie elektrowni jądrowych. Poza tym to właśnie uran pomógł Francuzowi Antoine'owi Henriemu Becquerelowi oraz Polce Marii Skłodowskiej-Curie odkryć zjawisko radioaktywności, zwane też promieniotwórczością.

W 1896 roku* Becquerel prowadził badania nad fosforescencją, czyli zjawiskiem polegającym na świeceniu niektórych substancji światłem własnym przez dłuższy czas po uprzednim naświetleniu ich światłem zewnętrznym. W ramach swoich eksperymentów wystawiał on minerały na działanie światła słonecznego, a następnie zawijał próbki w kliszę światłoczułą. Podczas jednego z takich badań Becquerel włożył do kieszeni fartucha

* Rok wcześniej niemiecki fizyk Wilhelm Röntgen opisał promieniowanie rentgenowskie (zwane też promieniowaniem X), czyli rodzaj promieniowania elektromagnetycznego, które było w stanie przenikać rozmaite substancje.

próbkę uranu, której nie zdążył naświetlić ze względu na niepogodę. Materiał miał styczność z kliszą, która uległa prześwietleniu. Badacz – wywołując klisze – zdał sobie sprawę z sytuacji i zaczął dokładniej analizować posiadane próbki uranu. Nie potrafiąc wytłumaczyć różnic między próbkami, zwrócił się z prośbą o pomoc do Marii Skłodowskiej-Curie (i jej męża Piotra Curie), która opisała zjawisko radioaktywności i wykazała, że zależy ono od emisji różnych rodzajów promieniowania i zachodzi skutek przemiany jednego pierwiastka w drugi. W roku 1898 podczas swoich badań Skłodowska-Curie odkryła rad* i zaobserwowała, jak pierwiastek przemienia się w radon w wyniku rozpadu promieniotwórczego. W podobny sposób badaczka odkryła polon**.

Jak najkrócej opisać odkrycie, którego dokonała Skłodowska-Curie? Zjawisko radioaktywności można przedstawić jako właściwość niektórych substancji polegającą na emitowaniu promieniowania jonizującego w wyniku spontanicznego rozpadu ich jąder atomowych. W procesie tym następuje emisja różnych rodzajów promieniowania: alfa (składającego się z jąder helu), beta (składającego

* Nazwa pochodzi od łacińskiego słowa *radius* (promień).

** Pierwiastek ten został nazwany na cześć ojczyzny Marii Skłodowskiej-Curie, Polski (łac. *Polonia*), która w chwili odkrycia polonu znajdowała się pod zaborami.

się z elektronów albo pozytonów) oraz gamma (będącego promieniowaniem elektromagnetycznym o bardzo wysokiej energii). Rodzaje te zostały później wyszczególnione i opisane przez Paula Villarda i Ernesta Rutherforda. Ten ostatni wykazał też eksperymentalnie istnienie jądra atomowego, stając się *de facto* ojcem współczesnego modelu atomu. W 1912 roku duński fizyk Niels Bohr przedstawił wizję atomu opartą na ustaleniach Rutherforda, która została nazwana modelem planetarnym – w jej ujęciu jądro atomu otoczone było krążącymi wokół niego elektronami. W 1919 roku Rutherford odkrył, że uderzony promieniami alfa azot emituje proton, co później (podczas wspólnych prac prowadzonych z Bohrem) skłoniło badacza do wysnucia hipotezy o istnieniu neutronów. Przypuszczenia te potwierdził w 1932 roku fizyk James Chadwick; w tym samym roku fizycy John Cockroft i Ernest Walton po raz pierwszy dokonali sztucznego rozszczepienia jąder atomowych. Badacze ci zbudowali akcelerator cząstek, który przyspieszał protony i bombardował nimi jądra atomów litu. W 1934 roku Enrico Fermi odkrył, że do tego celu znacznie lepiej stosować neutrony niż protony*. Wtedy bowiem szansa powodzenia całego procesu jest większa.

* Por. R. Rhodes, *Jak powstała bomba atomowa*, tłum. P. Amsterdamski, Wydawnictwo Marginesy, Warszawa 2021.

Dzięki pracy wyżej wymienionych uczonych ludzkość stanęła przed szansą pozyskiwania energii z procesu rozszczepiania jąder atomów. Dalsza część historii energetyki jądrowej przypomina film sensacyjny, będący połączeniem przygód Indiany Jonesa i Jacka Ryana. Pojawiają się w nim naziści, naukowcy i supermocarstwa, a stawką w opowieści jest światowa dominacja i przetrwanie ludzkości. Ale po kolei.

Po 1934 roku i odkryciach związanych z rozszczepianiem atomu naukowcy zaczęli się zastanawiać nad możliwością wytworzenia łańcuchowej reakcji jądrowej – czyli sytuacji, w której jedno rozszczepienie jądra powoduje kolejne, co prowadziłoby do wykładniczego wzrostu liczby rozszczepień. W 1938 roku fizycy Otto Hahn, Lise Meitner i Fritz Strassman otworzyli nowy rozdział światowej energetyki. Podczas prac nad bombardowaniem neutronami jąder uranu prowadzonych na Freie Universität Berlin ustalili, że wśród produktów rozpadu znajdują się izotopy baru, pierwiastka lżejszego od uranu. Próbując wyjaśnić to zjawisko, Meitner i jej siostrzeniec Otto Frisch doszli do wniosku, że – wbrew dotychczasowym przekonaniom – neutron jest w stanie spowodować rozpad jądra atomowego na dwie części. Reakcji takiej miało towarzyszyć wydzielenie olbrzymiej ilości

energii – oszacowano, że rozszczepienie uwolni około 200 milionów elektronowoltów, co potwierdził eksperymentalnie Frisch w 1939 roku. Prace Hahna, Frischa, Meitner i Strassmana były na pewien czas przerwane z uwagi na sytuację polityczną: Meitner, jako austriacka Żydówka, musiała w 1938 roku opuścić III Rzeszę – wyjechała do Szwecji, gdzie spotkała się z Frischem, który również opuścił Niemcy ze względu na szykany związane z jego żydowskim pochodzeniem*. Kontaktowali się oni z pozostałymi w Rzeszy badaczami korespondencyjnie. Frisch i Meitner opublikowali wyniki swoich badań w „Nature”; odrębną publikację przygotowali Hahn i Strassman. Od tamtego momentu w prace nad możliwością rozszczepiania jąder atomowych zaczęła się angażować coraz większa liczba badaczy. Szybko powiązano możliwości energetyczne tego procesu z przygotowaniem do wojny, która miała niebawem wybuchnąć w Europie.

W 1939 roku Adolf Hitler autoryzował tajny program badawczy o kryptonimie „Klub uranowy” (niem. *Uranverein*), którego celem było rozwinięcie technologii jądrowej i opracowanie broni opartej na tym rozwiązaniu. Liderem tego przedsięwzięcia był jeden z najważniejszych

* Tamże.

teoretyków kwantowych i fizyków jądrowych tamtego czasu Werner Heisenberg. Grupa poszukiwała między innymi rozwiązań w zakresie budowy reaktorów, w których paliwem były pluton 239, wykorzystywany później do stworzenia broni nuklearnej. W 1940 roku Otto Frisch i Rudolf Peierls opublikowali memorandum, które było pierwszym technicznym dokumentem pokazującym możliwość uzyskania bomby jądrowej. Zawarte w nim wyliczenia dotyczące masy krytycznej materiału rozszczepialnego wykazywały, że ładunek potrzebny do budowy takiej broni może być na tyle niewielki, że da się go przewieźć samolotem. „Załączony szczegółowy raport dotyczy możliwości skonstruowania «superbomby» wykorzystującej energię zgromadzoną w jądrach atomowych. Energia uwolniona podczas eksplozji takiej superbomby jest mniej więcej taka sama jak energia wytwarzana podczas eksplozji 1000 ton dynamitu. Energia jest uwalniana w małej objętości, w której przez chwilę wytworzy temperaturę porównywalną z tą panującą we wnętrzu Słońca. Fala uderzeniowa po takiej eksplozji zniszczyłaby życie na dużym obszarze. Wielkość tego obszaru jest trudna do oszacowania, ale prawdopodobnie obejmie centrum dużego miasta” – pisali w swoim memorandum Frisch i Peierls. Ustaleniami fizyków zainteresowali

się inni badacze, którzy wkrótce potem powołali Komitet MAUD* badający możliwości zbudowania broni jądrowej. W ciągu 15 miesięcy przygotowali raport, który trafił do brytyjskich służb specjalnych i wojska. Następnie Brytyjczycy rozpoczęli ściśle tajne prace, których celem miało być pozyskanie bomby jądrowej. Projekt otrzymał kryptonim „Stopy rur” (ang. *Tube alloys*). W 1942 roku Wielka Brytania porozumiała się w tej sprawie z USA, które rozpoczęły swój własny projekt badawczy o kryptonimie „Manhattan”. Od strony naukowej kierował nim fizyk Robert Oppenheimer, a prace prowadzono w laboratorium Los Alamos. Brał w nich udział także polski matematyk Stanisław Ulam. Zarówno Wielka Brytania, jak i USA wiedziały, że badania nad bronią jądrową prowadzą również hitlerowskie Niemcy – przed 1939 rokiem to właśnie niemieccy fizycy byli najbliżsi stworzenia tej technologii. Mocarstwa zdawały sobie sprawę, że zdobycie takiej przewagi przez którekolwiek z państw oznaczało automatyczne przechylenie się szali zwycięstwa na jego stronę. Na początku lat 40. na świecie rozpoczął się atomowy wyścig zbrojeń, który trwał do końca XX wieku (choć

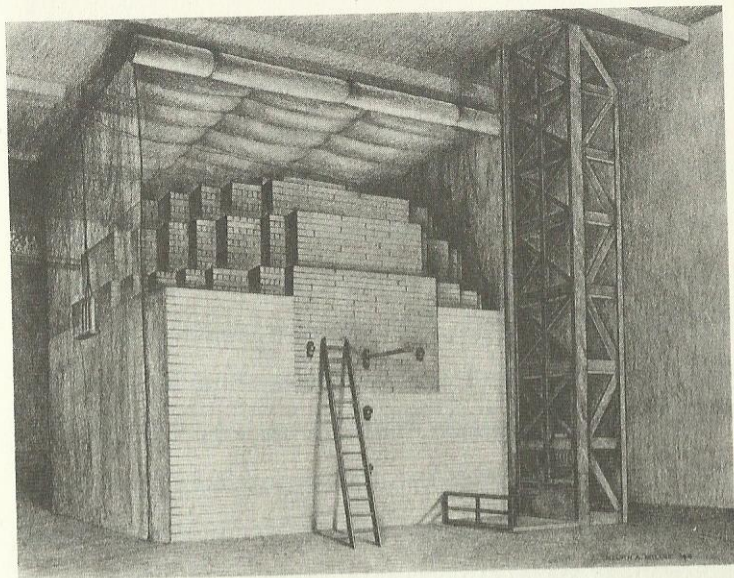
* Nazwę komitetu zaczerpnięto z telegramu Nielsa Bohra, w którym mówił on o swojej gosposi Maud Ray.

w zasadzie można powiedzieć, że trwa do dziś, lecz na innej płaszczyźnie)*.

Do badań w ramach projektu Manhattan** Amerykanie wykorzystali sprowadzony z Konga ładunek 1250 ton rudy uranu. Jako jeden z pierwszych celów projektu przyjęto przeprowadzenie kontrolowanej, samopodtrzymującej się jądrowej reakcji łańcuchowej. W tym celu zespół pod kierownictwem Enrico Fermiego rozpoczął prace nad pierwszym reaktorem jądrowym, czyli urządzeniem, które miało stworzyć warunki do przeprowadzenia reakcji potwierdzającej teoretyczne założenia fizyków. Budowa reaktora rozpoczęła się w Chicago w roku 1942. Na miejsce budowy wybrano stadion przy uniwersytecie w Chicago. Podstawowy element konstrukcji stanowiły grafitowe klocki o wymiarach 10 centymetrów × 10 centymetrów × 30 centymetrów – przy Chicago Pile-1 użyto w sumie około 45 tysięcy takich bloczków. Obramowanie wykonano z drewna, natomiast pomiędzy grafitem

* Por. tamże.

** Do projektu Manhattan nawiązywał pseudonim „Doktor Manhattan” nadany wspomnianej we wstępie tego rozdziału postaci z komiksu *Watchmen*. Prawdziwe nazwisko tego bohatera brzmiało Jon Osterman – był on fizykiem, który uległ wypadkowi podczas badań nad tak zwanym polem wewnętrznym. Incydent spowodował, że Osterman posiadał kontrolę nad materią i stał się superbohaterem. Jego pseudonim „został wybrany ze względu na skojarzenia, jakie wywoła u wrogów Ameryki”.



Ilustracja przedstawiająca reaktor na stadionie Alonzo Stagg Field w Chicago.

układano w otworach blaszane puszki wypełnione tlenkiem uranu. Całość przypominała ogromny stos, stąd też wzięła się nazwa tej jednostki (ang. *Chicago Pile* [Stos Chicagowski]). Reaktor był wyposażony w pręty wykonane z kadmu, które - umieszczone w odpowiedni sposób - kontrolowały zachodzącą reakcję. Jednostkę zbudowano w dwa tygodnie i na początku grudnia 1942 roku była gotowa do przeprowadzenia pierwszej reakcji. Dokonano tego 2 grudnia. Źródłem neutronów był specjalny pręt wypełniony berylem i polonem. Według pomiarów Fermiego reaktor osiągnął stan krytyczny (czyli - wbrew pierwszym skojarzeniom z tą nazwą - pożądaný stan samopodtrzymującej się reakcji łańcuchowej) o godzinie 15.25. Jednostka osiągała moc około 0,5 wata przez 4 minuty i 30 sekund.

Reaktor Chicago Pile-1 potwierdził hipotezy stawiane przez naukowców działających w ramach projektu Manhattan. Reakcja jądrowa dała się okiełznać. Teraz trzeba było zaprzęgnąć wydzielaną podczas niej energię do konkretnych celów. Dlatego następnym krokiem pracujących w USA badaczy było zbudowanie potężniejszego reaktora, który nie tylko stworzy warunki do reakcji łańcuchowej, ale także wyprodukuje paliwo nadające się do zastosowania w bombie jądrowej. Naukowcom udało

się ustalić, że optymalnym materiałem dla bojowych ładunków nuklearnych będzie izotop pluton 239, który w przyrodzie występuje jedyne w śladowych ilościach. Można go jednak otrzymać poprzez bombardowanie neutronami uranu 238. To właśnie w tym celu powstawały kolejne reaktory projektu Manhattan. Pierwszą próbkę sztucznie wytworzonego plutonu 239 otrzymano dzięki reaktorowi X-10; do celów produkcji tej substancji zbudowano cały kompleks w stanie Waszyngton.

Dysponując już zapleczem teoretycznym oraz potrzebnymi materiałami, USA mogły rozpocząć prace konstrukcyjne nad bombą jądrową. Udało się ją wyprodukować w roku 1945. Do pierwszego użycia ładunku jądrowego doszło 15 lipca na poligonie wojskowym w stanie Nowy Meksyk, gdzie bomba o kryptonimie „Gadget” spowodowała detonację ładunku nazwanego Trinity. Eksplozja o sile 25 kiloton trotylu uwolniła 100 teradzuli energii. Tym samym w rękach Amerykanów znalazła się najgroźniejsza broń, jaką kiedykolwiek stworzył człowiek, zdolna zrównywać z ziemią miasta, a nawet zagrozić istnieniu całej ludzkości.

W drugiej połowie 1945 roku USA mogły już wykorzystać zdobycze swoich naukowców do celów militarnych – akurat w chwili gdy bardzo potrzebowały narzędzia demonstracji swojej siły. Niemieccy fizycy pracujący nad

bombą jądrową dla Hitlera w pewnym momencie zostali przekierowani na inny odcinek* – w miarę porażek Wehrmachtu na froncie Niemcy zaczęły stawiać na rozwój broni raketowej, licząc, że kolejne projekty typu V2** okażą się prawdziwą *Wunderwaffe*, która ocali Rzeszę przed upadkiem***. Mimo sukcesów (i rażenia nimi różnych

* Trzeba nadmienić, że wielu wybitnych fizyków opuściło Niemcy i zajęła przez nie Austrię jeszcze przed 1939 rokiem ze względu na prześladowania narodowościowe i etniczne. Jednym z nich był między innymi Albert Einstein, który przebywał w USA, gdy Hitler doszedł do władzy. Na wieść o tym Einstein podjął decyzję o pozostaniu w Ameryce. Ucieczka osób takiego formatu wpłynęła na spowolnienie rozwoju niemieckiej fizyki jądrowej.

** USA szybko zorientowały się w postępach nad niemiecką bronią raketową i uznały, że technologia ta ma olbrzymi potencjał. Dlatego też pod koniec II wojny światowej amerykańskie służby specjalne rozpoczęły operację *Paperclip* (Spinacz), polegającą na wyszukiwaniu i przetrzymywaniu do USA naukowców zaangażowanych w prace nad raketami. W ramach tego przedsięwzięcia wielu wysokich rangą członków NSDAP i SS trafiło do Ameryki, gdzie rozpoczęło prace między innymi nad programem kosmicznym USA. W tym gronie znalazł się na przykład Wernher von Braun, oficer SS w stopniu Sturmbannführera oraz twórca rakiety Saturn V, która wyniosła amerykańskich astronautów na Księżyc.

*** Istnieją doniesienia sugerujące, że III Rzesza była znacznie bardziej zaawansowana w przygotowywaniu własnej bomby jądrowej, niż się powszechnie uważa. Mają o tym świadczyć zeznania niektórych świadków, a także pomiary radioaktywności dokonywane na hitlerowskich poligonach (na przykład na poligonie Ohrdruf w Turynii). Dane radiologiczne wskazują też, że niemieccy inżynierowie mogli przeprowadzać próby dotyczące wywołania krótkich reakcji łańcuchowych. Istnieją także podejrzenia, że to nazisci jako pierwsi zbudowali detonator do bomby jądrowej. Historycy spekulują również, jak na niemieckie plany

obiektów na przykład w Wielkiej Brytanii) cel ten nie został osiągnięty. W czasie trwania projektu Manhattan II wojna światowa w Europie zdążyła się zakończyć kapitulacją Niemiec. Jednakże USA cały czas były zaangażowane w wyczerpujący konflikt na Pacyfiku. Ich przeciwnikiem była tam cesarska Japonia. Oporu Japończyków nie łamały kolejne sukcesy Amerykanów osiągane dzięki taktyce żabich skoków opracowanej przez generała Douglasa MacArthura. Na nic zdały się także potężne naloty, takie jak nalot dywanowy na Tokio przeprowadzony w nocy z 9 na 10 marca 1945 roku, podczas którego 325 amerykańskich bombowców za pomocą między innymi bomb zapalających zniszczyło ćwierć miliona budynków, pozbawiając życia 80–130 tysięcy osób. Japończycy nie rezygnowali z walki. Latem 1945 roku Amerykanie stanęli przed dramatycznym wyborem: czy działać dalej w ramach konwencjonalnych operacji wojskowych, czy posłużyć się nową bronią? Mogli kontynuować wojnę na

w sprawie rozwoju broni nuklearnej wpłynęła bitwa o ciężką wodę, która polegała na zniszczeniu hitlerowskich zakładów produkujących tę substancję ulokowanych w okupowanej Norwegii. Ciężka woda ma zdolność do spowalniania neutronów, więc może być stosowana jako moderator w elektrowniach jądrowych, jest też potrzebna do produkcji broni jądrowej. Por. <https://www.rp.pl/historia/art3357751-czy-iii-rzesza-posiadala-bron-atomowa> [dostęp: 18.08.2023].

zniszczymy japońskie zdolności do prowadzenia wojny” – powiedział Truman w swoim przemówieniu po przeprowadzeniu pierwszego ataku nuklearnego. To tłumaczenie sprawiło, że wielu ekspertów wykorzystuje ów fakt historyczny do ilustrowania dylematu wagonika*, bowiem według kalkulacji i słów prezydenta Trumana unicestwienie dwóch japońskich miast umożliwiło wcześniejsze zakończenie II wojny światowej na Pacyfiku i uratowanie setek tysięcy ludzi, którzy zginęliby w walkach. Jednakże dylemat wagonika nie bez powodu nazywa się dylematem i wiele osób dostrzega w zastosowanej strategii raczej zniszczenie niż korzyść. Jednakże z punktu widzenia

* Dylemat wagonika to popularny eksperyment myślowy będący próbą rozwiązania problemu etycznego. Został sformułowany po raz pierwszy przez Philippe Foot w 1967 roku. Polega on na następującym zadaniu: wyobraź sobie, że jesteś obok torów kolejowych, a na tych torach jedzie wagonik, który nie może się zatrzymać. Na torach znajduje się pięć osób, które są nieświadome zagrożenia i nie mają szansy na ucieczkę. W związku z tym wydaje się, że pięć osób będzie nieuniknione zabitych przez wagonik. Nagle zauważasz, że obok ciebie stoi przekładnia, jaka pozwala zmienić tor wagonika na inny, na którym znajduje się tylko jedna osoba. Jeśli użyjesz dźwigni, pięć osób na pierwszych torach zostanie uratowanych, ale jednocześnie spowodujesz śmierć jednej osoby na drugich torach. Dylemat polega na pytaniu, czy powinieneś podjąć działanie i użyć dźwigni, aby zmienić tor wagonika i tym samym zdecydować o śmierci jednej osoby, aby uratować pięć innych, czy też powinieneś pozostać bezczynny i pozwolić, aby pięć osób na pierwszych torach zginęło, lecz nie podejmować bezpośredniej decyzji o śmierci jednej osoby.

Amerykanów taki pokaz siły, kruszący nieugiętego przeciwnika, był sposobem zminimalizowania strat potrzebnych do zwyciężenia w wojnie na Pacyfiku. Warto tu zastanowić się nad efektem psychologicznym ataku nuklearnego. Paradoksalnie, patrząc na statystykę i suche liczby, przeprowadzone przed uderzeniem na Hiroszimę bombardowania dywanowe Tokio były porównywalnie śmiertelne i niszczące. Można zauważyć, że liczba bezpośrednich ofiar marcowego nalotu na japońską stolicę była większa niż liczba bezpośrednich ofiar zrzucenia bomby na Hiroszimę. Ale ten pierwszy atak przeprowadzono przy użyciu broni konwencjonalnej, a drugi – przy użyciu technologii, która jeszcze nie była światu znana. Te dwa uderzenia – na Tokio i Hiroszimę – warto zestawić ze sobą z jeszcze jednego powodu. Pierwsza operacja wymagała użycia potężnych sił: setek samolotów, tysięcy ludzi, milionów kilogramów ładunków wybuchowych. Tymczasem bomba jądrowa pokazała, że jeden samolot jest w stanie zrównać z ziemią całe miasta. To zupełnie zmieniało logikę i rachubę prowadzeniu wojen – kosztowne operacje militarne, pochłaniające mnóstwo zasobów nie były już potrzebne; przeciwnika można było doszczętnie zniszczyć przy minimalnym nakładzie środków strategicznych. Osiągnięcie rażącej dysproporcji kosztów

własnych względem strat nieprzyjaciela było możliwe dzięki przekierowaniu na ten cel energetycznej potęgi drzemiącej w materiałach rozszczepialnych. Po raz kolejny w historii odpowiednie wykorzystanie energii stało się kluczem do budowy potęgi danego państwa.

Strach przed atakiem nuklearnym i jego skutkami na dobre utkwiał w zbiorowej świadomości Japończyków. Obezwładniająca groza, którą wywołują efekty użycia broni atomowej, oraz panika wynikająca z nieumiejętności objęcia rozumem nuklearnej katastrofy stały się dla japońskiego reżysera Ishirō Hondy inspiracją do nakręcenia filmu *Godzilla*. W produkcji tej ogromny jaszczu-ropodobny niszczycielski potwór, uderzający na Kraj Kwitnącej Wiśni od wschodu (czyli z kierunku, z którego przyleciał bombowiec B-29, zrzucając bombę na Hiroszimę), symbolizował straszną potęgę broni jądrowej i wyrażał nieustającą obawę przed jej ponownym użyciem.

„Stałem się Śmiercią, niszczycielem światów” – powiedział szef projektu Manhattan Robert Oppenheimer, cytując hinduską świętą księgę Bhagawadgita. Ale z pracy naukowców działających przy tym przedsięwzięciu wynikała nie tylko destrukcja. Wręcz przeciwnie, przyczynili się oni do budowy zupełnie nowej gałęzi energetyki, która przez lata niosła ludziom rozwój, dobrobyt, a nawet ratowała ich

życie i zdrowie. Sam projekt Manhattan nie dotyczył jedynie wykorzystania energii jądrowej do celów niszczących. Jak pisałem wcześniej, prace nad bombą były tylko jego częścią. Równolegle z badaniami nad bombą w 1944 roku rozpoczęto badania nad innym wykorzystaniem energii jądrowej. Eksperci zgodnie sugerowali, że za pomocą źródeł nuklearnych można napędzać okręty US Navy. W roku 1945 Senat amerykański powołał specjalną komisję do zbadania tych możliwości. Zeznawali przed nią rozmaici specjaliści, między innymi Ross Gunn, późniejszy ojciec napędów jądrowych stosowanych w okrętach podwodnych. „Najważniejszym zadaniem energii atomowej jest obracać koła Ziemi i napędzać okręty” – powiedział Gunn przed komisją*. W listopadzie 1945 roku amerykańska marynarka wojenna opublikowała raport opisujący techniczne wady oraz zalety proponowanego rozwiązania. Siedem lat później położono stępkę pod budowę pierwszej jednostki z napędem nuklearnym. W 1954 roku okręt podwodny USS Nautilus** został

* N. Polmar, *Cold War Submarines. The Design and Construction of U.S. and Soviet Submarines*, Potomac Books, Washington 2003.

** Nautilus po łacinie znaczy pływak. Nazwę zaczerpnięto z książki Juliusza Verne'a *20 tysięcy mil podwodnej żeglugi*, w której pojawia się okręt podwodny Nautilus dowodzony przez kapitana Nemo (który w oryginalnej wersji książki był polskim szlachcicem; ten szczegół zmienił jednak wydawca dzieł Verne'a Pierre-Jules Hetzel). Zwodowany w 1954 roku okręt nie był jednak pierwszą amerykańską jednostką noszącą nazwę zaczerpniętą

włączony do służby w marynarce wojennej USA. Pierwszy rejs odbył 17 stycznia 1955 roku. Okręt nadał wtedy lampą sygnałową wiadomość *Underway on nuclear power*, stając się pierwszym w historii obiektem, który został wprawiony w ruch dzięki energii tkwiącej w jądrze atomu.

Nautilus otworzył piękny rozdział niedestrukcyjnego wykorzystywania energii jądrowej, które szybko przeszło w postać całkowicie pokojową. Inżynierowie i naukowcy zaczęli wynajdywać dla źródeł nuklearnych kolejne zastosowania o coraz mniej militarnym charakterze. W połowie lat 50. na całym świecie zaczęto stawiać z pozoru paradoksalne pytanie: czy można użyć broni jądrowej do celów pokojowych? Zadał je sobie między innymi Aleksander Zacharenkow, projektant broni jądrowej i późniejszy kierownik sowieckiego przedsięwzięcia o nazwie „Wybuchy Jądrowe dla Gospodarki Kraju”. Nazwa projektu, choć mało subtelna, dość dobrze oddawała jego istotę, chodziło w nim bowiem o to, aby ładunki jądrowe wykonały w niektórych przypadkach pracę, do której poprzednio trzeba było zaangażować znacznie więcej sił i środków (co przekładało się na wyższe koszty). Zainicjowany w roku 1958

z tej powieści. Co ciekawe, sam Verne najprawdopodobniej nie wymyślił Nautilusa - nazwę taką nosiły okręty podwodne zbudowane na zlecenie Napoleona przez amerykańskiego wynalazcę Roberta Fultona.

i rozpoczęty w roku 1965 projekt składał się z dwóch równoległych prowadzonych przedsięwzięć: Programu (lub Projektu) 6 oraz Programu 7. Pierwszy z nich zakładał wyłącznie podziemne używanie ładunków jądrowych do celów budowlanych (na przykład tworzenia kanałów, podziemnych składowisk czy zbiorników wodnych). W jego ramach przeprowadzono łącznie 135 detonacji ładunków różnej mocy. Z kolei Program 7 był znacznie bardziej złożony, jeśli chodzi o zakres stosowania. Podczas jego realizacji przeprowadzono łącznie 115 detonacji ładunków jądrowych. Najwięcej z nich, bo aż 39, było związanych z poszukiwaniami nowych złóż gazu ziemnego. Wykorzystano do tego celu małe ładunki nuklearne, które miały wywołać określone fale sejsmiczne umożliwiające geologom zlokalizowanie pokładów tego surowca. Kolejne 25 ładunków jądrowych przeznaczono na zwiększenia dostępu do już istniejących złóż gazu i ropy naftowej. 22 eksplozje przeprowadzono w związku z tworzeniem podziemnych składowisk dla gazu ziemnego. 5 ładunków wykorzystano do poradzenia sobie z niezwykle trudnymi i kosztownymi do ugaszenia pożarami złóż gazu (między innymi na złożu Urtabulak i złożu Pamuk). Kolejne 2 eksplozje posłużyły do rozbicia rudy w kopalni odkrywkowej, a jedna – do ułatwienia wydobycia węgla w jednym ze złóż. Ostatnia

detonacja przeprowadzona w ramach Programu 7 miała miejsce w 1988 roku. W tym samym roku Sowieci zakończyli całe przedsięwzięcie, co było związane z rozmowami rozbrojeniowymi prowadzonymi na linii Moskwa-Washington. ZSRS nie był jedynym krajem, który starał się wykorzystać broń jądrową w celach infrastrukturalnych. Również USA prowadziły podobne przedsięwzięcie określane mianem operacji *Plowshare* (Lemiesz; nazwa nawiązuje do cytatu z Księgi Izajasza,* gdzie jest mowa o przekuciu mieczy na lemiesz). Ta spotkała się jednak z potężnymi protestami społecznymi. W jej ramach w latach 1958–1975 przeprowadzono „zaledwie” 27 detonacji.

Choć powiązanie energetyki jądrowej z bronią jądrową dziś już praktycznie nie ma racji bytu (są kraje dysponujące bronią jądrową, lecz niemające energetyki jądrowej, i na odwrót), to dla wielu aktywistów (między innymi Greenpeace’u**) i polityków wystarczającym argumentem

* Iz 2;4: „On będzie rozjemcą pomiędzy ludami i wyda wyroki dla licznych narodów. Wtedy swe miecze przekują na lemiesz, a swoje włócznie na sierpy”.

** Można też zastanawiać się nad faktyczną rolą broni jądrowej w światowych konfliktach. Została ona użyta jedynie dwa razy, w 1945 roku, i od tamtego momentu ludzkość nie prowadziła już wojen światowych. Część ekspertów uważa, że jest to zasługa właśnie broni jądrowej, a konkretnie: tak zwanej doktryny MAD (Mutual Assured Destruction). Polegała ona na założeniu wzajemnego odstraszenia państw z arsenałami jądrowymi, co miało

przeciwko cywilnej technologii nuklearnej jest samo zaistnienie takiego związku w przeszłości. Powszechnie jednak rozdział między pokojowym wykorzystaniem energii jądrowej a zbrojeniami jest obecnie niekwestionowalny i bardzo szeroki. Nikt poważny nie obawia się przecież uderzenia jądrowego ze strony takiego nuklearnego mocarstwa jak na przykład Słowacja. Kraj ten wytwarza około 20% swojej energii elektrycznej dzięki jednostkom jądrowym.

W latach 50. osiągnięcia fizyków dotyczące opanowania reakcji jądrowej i wykorzystywania energii tego procesu zaczęto przeszczepiać na grunt cywilny. W 1954 roku w ZSRS, a dokładnie w oddalonym o około 100 kilometrów od Moskwy mieście Obninsk, uruchomiono pierwszą cywilną elektrownię jądrową APS-1. Została ona wyposażona w reaktor AM-1 (to skrót od słów АТОМ Мирный [pokojowy atom]). Jego moc wykorzystywana do produkcji energii elektrycznej wynosiła 5 MW. Nie

minimalizować ryzyko ataku – żadna ze stron nie chciała stać się ofiarą uderzenia jądrowego ani tym bardziej doprowadzić do globalnego kataklizmu, który wydaje się nieunikniony w realiach wojny nuklearnej. Przeciwnicy tego poglądu twierdzą, że w rzeczywistości doktryna MAD doprowadziła jedynie do nakręcenia spirali wyścigu zbrojeń, nie uwzględniała ryzyka błędów ludzkich i technicznych oraz nie stanowiła odpowiednio silnego zabezpieczenia przed konfliktem jądrowym.

była to jednak pierwsza jednostka jądrowa wytwarzająca energię elektryczną – ten tytuł należy do reaktora EBR-1 (Experimental Breeder Reactor), który działał w Argonne National Laboratory w amerykańskim stanie Idaho. Jednak EBR-1 w przeciwieństwie do AM-1 nigdy nie dostarczał energii elektrycznej do sieci.

Uruchomienie reaktora w Obninsku rozpoczęło proces komercjalizacji energetyki jądrowej. Dominowały w tym zakresie amerykańskie przedsiębiorstwa. W 1960 roku spółka Westinghouse stworzyła swój pierwszy komercyjny reaktor jądrowy o mocy 250 MW w elektrowni Yankee Rowe. W tym samym roku inna amerykańska firma, General Electric, uruchomiła reaktor Dresden-1 w elektrowni o tej samej nazwie. Pierwsza z wymienionych jednostek należała do rodziny reaktorów wodno-ciśnieniowych (Pressurized Water Reactor – PWR), a druga do rodziny reaktorów wodnych wrzących (Boiling Water Reactor – BWR). Wyszczególnienie tych dwóch rodzajów technologii to dobra okazja, aby pokrótce opisać urządzenie, jakim jest reaktor jądrowy wykorzystywany w energetyce. Jak wspominałem wcześniej, reaktor ma tworzyć warunki do przeprowadzenia kontrolowanej i samopodtrzymującej się łańcuchowej reakcji jądrowej polegającej na rozbijaniu neutronami jąder atomów. Nieco upraszczając sprawę,

można powiedzieć, że w elektrowni jądrowej reaktor pełni taką samą funkcję jak w konwencjonalnych elektrowniach cieplnych kocioł, w którym spala się paliwa kopalne. Zarówno reakcja jądrowa, jak i proces spalania generują energię cieplną, którą wykorzystuje się do zamiany wody w parę. Ta przesyłana jest następnie do turbiny wytwarzającej energię elektryczną. Elektrownie jądrowe – tak jak jednostki węglowe czy gazowe – mogą dostarczać zarówno elektryczność, jak i ciepło systemowe.

W miarę rozwoju technologii nuklearnej pojawiło się wiele typów i rodzajów takich jednostek, a co za tym idzie, także i ich klasyfikacji. Reaktory jądrowe można podzielić na przykład ze względu na energię neutronów, które powodują zachodzącą w nich reakcję jądrową. I tak wyróżnia się reaktory termiczne (najpowszechniejsze, wykorzystujące neutrony o niewielkiej energii, spowalniające dzięki moderatorowi, którym jest na przykład woda lub grafit) oraz prędkie (wykorzystujące neutrony o takiej energii, jaką mają po rozszczepieniu, pozbawione moderatora). Reaktory jądrowe różnią się między sobą także mocą zainstalowaną. Obecnie budowane jednostki mają około 1 GW zainstalowanej mocy elektrycznej, lecz opracowuje się tak zwane małe modułowe reaktory jądrowe (Small Modular Reactors – SMR) o mocy od

kilkudziesięciu do kilkuset megawatów. Innym wyróżnieniem może być także konstrukcja. Zdecydowana większość zbudowanych na świecie reaktorów energetycznych to jednostki zbiornikowe, czyli takie, w których paliwo (a więc materiał rozszczepialny, w którym zachodzi reakcja jądrowa) jest zanurzone w substancji chłodzącej (na przykład w wodzie). Rzadziej stosuje się konstrukcje kanałowe, w których chłodziwo znajduje się w rurach. Sam materiał, który chłodzi reaktor, także może służyć jako *differentia specifica* dla reaktorów. Najpowszechniejszym rodzajem są jednostki wodne ciśnieniowe, w których chłodziwem i moderatorem jest woda pod ciśnieniem uniemożliwiającym jej wrzenie. Zalicza się do nich typy określane akronimami PWR (Pressurized Water Reactor) i WWER (Wodno-Wodianoj Energeticzeskij Reaktor), które różnią się w zasadzie głównie tym, że te pierwsze budowano w krajach zachodnich, a te drugie - w ZSRS. Jeszcze inne są jednostki BWR (Boiling Water Reactor), w których chłodziwem i moderatorem jest woda wrząca. Istnieją także reaktory ciężkowodne określane akronimem PHWR (Pressurized Heavy Water Reactor), w których do chłodzenia i spowalniania neutronów stosuje się ciężką wodę. Można wskazać także na reaktory gazowe, w których chłodziwem jest gaz, a funkcję

moderatora pełni grafit. Ciekawym rodzajem są jednostki typu LMR (Liquid Metal-cooled Reactor), w których substancją chłodzącą jest płynny metal. Innym chłodziwem stosowanym w energetyce jądrowej jest stopiona sól – wykorzystują ją urządzenia MSR (Molten Salt Reactor). Można także za kryterium przyjąć przeznaczenie reaktora: poza jednostkami energetycznymi istnieją także reaktory badawcze (używane do badań naukowych oraz produkcji materiałów stosowanych w medycynie), a także jednostki eksperymentalne (czyli pilotażowe projekty nowych wersji reaktorów). Rozwój technologii jądrowej przyniósł także podział ze względu na generacje. Obecnie budowane na świecie reaktory należą do trzeciej generacji, trwają jednak prace nad przygotowaniem kolejnej.

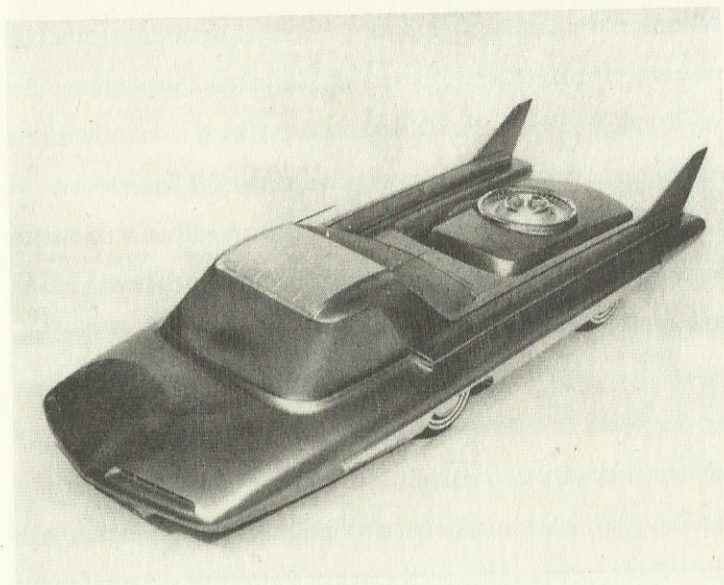
W miarę rozwoju energetyki jądrowej zaczęto wiązać z nią coraz większe, niekiedy wręcz przesadne, nadzieje. W latach 50. atom stał się wręcz symbolem epoki nazywanej *Atomic Age**. Energia nuklearna była przedstawia-

* *Atomic Age* przypadł na lata 50. XX wieku, które szczególnie w USA były okresem wyjątkowej *prosperity*. Społeczeństwo uwolniło zmagazynowane przez lata II wojny światowej zasoby i oszczędności, co napędziło gospodarkę, podwyższając szybko poziom życia przeciętnego Amerykanina. Sny o energii jądrowej splotły się zatem z wyjątkowo dobrymi warunkami ekonomicznymi, co często rzutuje na postrzeganie zarówno samych lat 50., jak i rozwoju technologii nuklearnej w tym okresie.

na jako cudowne remedium na dotychczasowe problemy świata oraz jako pomost do zupełnie nowego poziomu cywilizacyjnego, w którym człowiek ma do dyspozycji nieskończone zasoby energetyczne tkwiące w pierwiastkach rozszczepialnych. Wierzono, że energetyka jądrowa zasili wszystko, nawet samoloty i samochody.

W celu realizacji tych zamierzeń rząd USA rozpoczął specjalny program badawczy Aircraft Nuclear Propulsion, w ramach którego przygotowywano projekty reaktorów i silników mogących posłużyć jako napędy dla statków powietrznych. Podczas realizowania tego przedsięwzięcia firma Convair zamontowała nawet jedną z takich jednostek na pokładzie bombowca strategicznego B-36 Peacemaker. Samolot ten, nazwany NB-36H Nuclear Test Aircraft, wykonał łącznie 47 lotów z reaktorem na pokładzie. Badania dotyczyły jednak wyłącznie wpływu działającego reaktora na załogę; jednostka nie zasilła maszyny. Program atomowych samolotów został ostatecznie zlikwidowany na początku lat 60.

Z kolei marzenia o atomowej motoryzacji pchnęły producentów do śmiałych projektów aut wyposażonych w nuklearny układ napędowy. W 1958 roku koncern motoryzacyjny Ford zaproponował koncepcję samochodu z zasilaniem jądrowym o roboczej nazwie Ford



Model koncepcyjnego samochodu Ford Nucleon.

Nucleon. Pojazd miał dysponować małym reaktorem, który napędzałby turbinę parową. Jego zasięg szacowano na 8000 kilometrów. Cztery lata później ta sama firma zaprezentowała na Wystawie Światowej w Seattle model Ford Seattle-ite, również napędzany energią nuklearną. Podobne projekty tworzyły także inne koncerny motoryzacyjne: Studebaker i Simca. Żadne z atomowych aut nie wyszło nigdy poza fazę koncepcyjną - przede wszystkim ze względu na obawy co do bezpieczeństwa i szacowane wysokie koszty produkcji.

Energia nuklearna została też powiązana z coraz ambitniejszymi planami podboju kosmosu - widziano w niej jednak nie tylko doskonały napęd dla statków kosmicznych. W 1958 roku w USA pojawił się projekt detonacji ładunku jądrowego na... Księżycu. Koncepcja ta była częścią amerykańsko-sowieckiego wyścigu kosmicznego i miała stanowić odpowiedź na sukcesy ZSRS w zakresie programu Sputnik. To ZSRS jako pierwszy dał Ziemi sztucznego satelitę; również Sowieci stali za wysłaniem na orbitę okołozemską pierwszego żywego stworzenia - była to suka Łajka. Każde z tych wydarzeń Moskwa przekuwała w swój propagandowy sukces. Wizerunkowe straty oraz powiększający się w tym zakresie dystans między ZSRS a USA skłoniły Amerykanów do gorączkowego

obmyślenia posunięcia, które dałoby im prowadzenie w kosmicznym wyścigu. Tak zrodził się pomysł przeprowadzenia detonacji ładunku jądrowego na Księżycu. Uważano bowiem, że wybuch odpowiednio dużej bomby jądrowej na Srebrnym Globie byłby widzialny gołym okiem dla obserwatorów z Ziemi, co stanowiłoby - *nomen omen* - jasny dowód amerykańskich możliwości podboju kosmosu. Eksplozja miałaby również pomóc w astrogeologii. Projektowi nadano kryptonim „A119”. Po przeprowadzeniu wstępnych analiz zrezygnowano jednak z tego przedsięwzięcia - ryzyko niepowodzenia było zbyt duże, obawiano się także podobnej odpowiedzi ze strony ZSRS i w konsekwencji militaryzacji przestrzeni kosmicznej. Na początku lat 60. administracja prezydenta Kennedy'ego uznała, że znacznie lepszym pomysłem będzie wysłanie na Księżyc człowieka, a nie bomby jądrowej.

W połowie XX wieku energia jądrowa stała się integralną częścią rzeczywistości. Atom wdarł się przebojem do popkultury - stał się między innymi inspiracją dla świata mody. W 1946 roku, kilka dni po próbną detonacji ładunku jądrowego na atolu Bikini, francuski inżynier Louis Réard zaprezentował nowy kostium kąpielowy, który zaczerpnął swoją nazwę właśnie od miejsca testowania broni nuklearnej. Amerykańska dziennikarka

modowa Diana Vreeland określiła skąpy strój mianem bomby atomowej mody. W 1955 roku Elton Britt nagrał piosenkę *Uranium Fever** (*Uranowa gorączka*), w której śpiewał: „*Well, I don't know, but I've been told Uranium ore's worth more than gold*” (w wolnym tłumaczeniu: „Nie wiem sam, ale słyszałem, że uran jest wart więcej niż złoto”). Amerykańskie miasto Las Vegas zyskało miano *Atomic City* - można było bowiem oglądać z niego testy brojni jądrowej prowadzone na poligonie Nevada Test Site. Władze miasta wykorzystały to jako atrakcję turystyczną. Lokalne hotele, kasyna i restauracje zaczęły organizować specjalne *Dawn Bomb Parties*, czyli imprezy połączone z obserwacją detonowania ładunków nuklearnych, które odbywały się nad ranem. Gościom serwowano specjalne

* Paliwo do elektrowni jądrowych pozyskuje się właśnie z uranu. Wydobyty uran ma formę rudy. Żeby wyprodukować z niej paliwo dla elektrowni, trzeba najpierw go zateżyć i „wzbogacić”, czyli zwiększyć zawartość rozszczepialnego izotopu U-235. Kolejnym krokiem jest produkcja pastylek uranowych o średnicy około 10 mm, którymi następnie wypełnia się koszulki paliwowe w długich na 3-4 metry prętach paliwowych. Pręty łączy się w zestawy po około 300 sztuk. Przeciętny reaktor to 100-200 takich zestawów, czyli łącznie około 10 milionów sztuk pastylek paliwowych. Obecnie światowy rynek uranu jest dość bogaty. W roku 2021 globalne wydobycie rudy uranu sięgnęło 48 332 tony. Największymi producentami były kraje, takie jak: Kazachstan (45% światowej podaży), Namibia (12%) oraz Kanada (10%). Dużymi producentami są także Australia (8%) i Uzbekistan (7%).

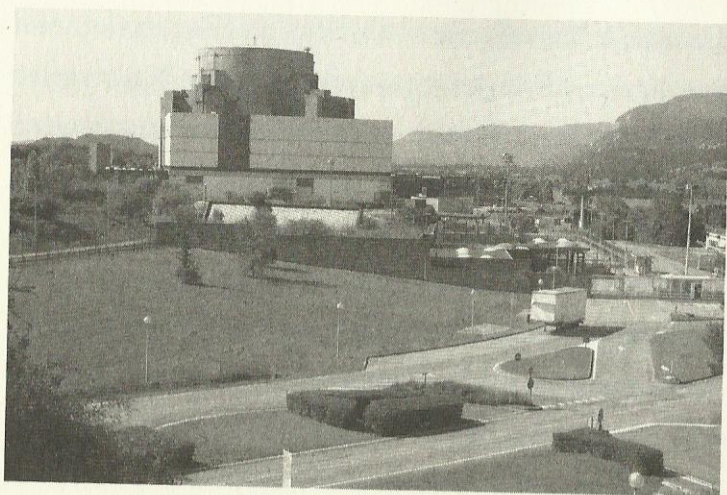
koktajle atomowe, składające się z wódki, koniaku, sherry i szampana. Niektórzy co odważniejsi turyści jeździli bliżej poligonu, aby cieszyć się lepszym widokiem wybuchów jądrowych.

Powyższe przykłady mogą się wydawać trywialne, jednak trzeba pamiętać, że równoległe z uprawianiem turystyki atomowej i prezentacji kolejnych wersji bikini na świecie rozwijała się dynamicznie energetyka jądrowa. W roku 1960 na całym świecie działało 17 reaktorów jądrowych o mocy elektrycznej 1,2 GW. Jednostki te pracowały w czterech krajach: Francji, USA, Wielkiej Brytanii i ZSRS. Dziesięć lat później park mocy jądrowych rozrósł się do ulokowanych w piętnastu państwach 90 reaktorów o łącznej mocy 16,5 GW. Lata 70. XX wieku uchodzą za okres najbardziej dynamicznego rozwoju tej technologii. Każdego roku rozpoczynano budowę 25-30 nowych jednostek jądrowych, a energia nuklearna została wpisana do programów energetycznych wielu państw świata jako remedium na największy kryzys energetyczny ubiegłego stulecia. W 1980 roku w energetyce jądrowej działało już 135 GW mocy zainstalowanej.

W tamtym czasie USA - tak jak wiele innych krajów Zachodu - korzystały z niezwykle taniej ropy naftowej. Surowiec ten wykorzystywano w coraz to nowych

sektorach gospodarki. Był na tyle dostępny i tani, że wypierał nawet węgiel z indywidualnego ciepłownictwa. Za baryłkę (a więc 159 litrów) ropy naftowej płacono wtedy około 1 dolara. Taka sytuacja wynikała między innymi z bardzo dużego wydobycia w krajach arabskich, gdzie koszty produkcji były ekstremalnie niskie. Wraz z zapotrzebowaniem Zachodu na ropę zwiększała się zależność od jej dostawców. Dlatego też tak wielkim ciosem dla zachodnich gospodarek był kryzys naftowy z roku 1973 wywołany sankcjami (nałożeniem embarga i ograniczeniem produkcji ropy) wprowadzonymi przez państwa arabskie za pomoc udzieloną Izraelowi podczas wojny Jom Kipur (co opisałem nieco szerzej w rozdziale poświęconym ropie naftowej). Załamanie gospodarcze, które nastąpiło w wyniku kryzysu naftowego, skłoniło rządy wielu krajów świata do prac nad dywersyfikacją dostaw surowców energetycznych i dążeniem do niezależności w tym zakresie. W sukurs przyszła energetyka jądrowa, która jawiła się jako dostępne źródło stabilnej energii. Jednym z najbardziej ambitnych planów na tym polu był amerykański projekt *Independence* (Niezależność). Inicjatywa została podjęta przez administrację Richarda Nixona. Ten prezydent USA miesiąc po wybuchu kryzysu naftowego (w listopadzie 1973 roku) zaproponował kompleksową

strategię, której celem miało być osiągnięcie niezależności energetycznej kraju już w 1980 roku. Zdaniem Nixona zależność Ameryki od importu energii mogła zostać ograniczona również dzięki jej własnym technologiom i przemysłowi. Dlatego jednym z najbardziej znanych postulatów był pomysł budowy 1000 elektrowni jądrowych do roku 1980, czyli w ciągu około 6 lat. Biały Dom zamierzał to osiągnąć poprzez między innymi ograniczenie czasu licencjonowania i budowy tego typu siłowni z 10 lat do właśnie 6 lat. Według założeń prezydenta i jego ekspertów energię z atomu można było zastosować w wielu sektorach gospodarki, a badania nad tą sferą tylko zwiększały owe możliwości. Środki na budowę miały pochodzić z budżetu federalnego i partnerstwa publiczno-prywatnego. Z kolei finansowanie rozwoju elektrowni jądrowych miała zapewnić Agencja Badań i Rozwoju Energetycznego (ang. Energy Research and Development Administration). „Projektem Niezależność 1980 nazwałem serię planów i celów ustanowionych z zamiarem, by na koniec tej dekady Amerykanie nie byli zależni od żadnego źródła energii poza ich własnymi (...). Oznacza to, że będziemy trzymać nasz los i naszą przyszłość wyłącznie w naszych własnych rękach” – powiedział prezydent Nixon w orędziu z 1973 roku. Zamysłu, którego rangę autor przytoczonej wypowiedzi i jego współpracownicy porównywali



Elektrownia jądrowa Creys-Malville we Francji.

do znaczenia programu Apollo, niestety nie udało się zrealizować. Rychło ówczesnego przywódcę USA zmiotła z fotela prezydenckiego afera Watergate, a arabskie embargo zostało zniesione, przez co zniknął główny powód realizacji projektu Niezależność. Jednakże elementy tamtego przedsięwzięcia – przede wszystkim dążenie do oszczędzania energii – wpływały na amerykańskie kampanie wyborcze przez całe lata 70.

Znacznie bardziej realnie i skutecznie do wdrażania energetyki jądrowej jako recepty na kryzys podeszła Francja. Następstwem embargo naftowego z 1973 roku był przedłożony rok później francuski plan Messmera, nazwany tak od nazwiska jego twórcy, ówczesnego premiera Francji Pierre'a Messmera. Inwestycje w energetykę jądrową przewidziane w jego ramach to łącznie 80 elektrowni jądrowych do 1985 roku i aż 170 do roku 2000. Już w momencie ogłoszenia planu rozpoczęto budowę trzech pierwszych jednostek (Tricastin, Gravelines, Dampierre). Do połowy lat 80. udało się uruchomić 56 reaktorów; wtedy też uznano, że osiągnięty potencjał mocy jest wystarczający. Dzięki planowi Messmera Francja uzyskała miks elektroenergetyczny oparty w większości (około 70%) na energetyce jądrowej, co do dziś pozwala jej czerpać dodatkowe korzyści na przykład w zakresie polityki

klimatycznej (elektrownie jądrowe są praktycznie bezemisyjne, uniżny instrument w postaci systemu handlu emisjami nie stanowi zatem dla Francji problemu).

Koniec lat 70. był jednocześnie końcem *Atomic Age*. W następnych dekadach przemysł jądrowy miał przejść gwałtowne załamanie. Przyczyniły się do tego przede wszystkim incydenty związane z funkcjonowaniem elektrowni jądrowych oraz reakcje społeczne na te zdarzenia.

Energia jądrowa od początku wzbudzała obawy, a nawet strach. Wynikało to przede wszystkim z jej niszczyielskiego potencjału (unaocznionego w roku 1945), ale również z tego, że kluczowe pojęcia i aspekty technologii nuklearnej (jak choćby rozszczepialność i radioaktywność) są trudne do zrozumienia dla ogółu ludzi. Wymaga to pewnej wiedzy z zakresu chemii i fizyki. Tymczasem mechanizmy naszej psychiki działają tak, że najczęściej boimy się tego, czego nie pojmujemy. Ponadto promieniowanie – będące jednym z głównych źródeł lęku przed energią jądrową – traktowane jest jako niewidzialny wróg, który może zabijać nagle i z zaskoczenia, co może jeszcze bardziej przerażać.

Obawy związane z destrukcyjnymi siłami energii jądrowej były szczególnie duże na początku lat 60., w czasie kryzysu kubańskiego. Wówczas to realne ryzyko wybuchu

ogólnoświatowego konfliktu jądrowego wydawało się bardzo duże. Przyczyną kryzysu było rozmieszczenie przez ZSRS na Kubie wyrzutni rakiet balistycznych średniego zasięgu, zdolnych do przenoszenia głowic atomowych. Kiedy USA - za pomocą zwiadu lotniczego - wykryły zbudowane przez Sowieców instalacje, zarządziły blokadę morską Kuby. Przez kilka tygodni USA z prezydentem Johnem F. Kennedym toczyły rozgrywkę z ZSRS i jego przywódcą Nikitą Chruszczowem. Zanim ostatecznie udało się osiągnąć kompromis i zażegnać kryzys, światowa opinia publiczna żyła przez ten czas w strachu, obawiając się wojny jądrowej między mocarstwami.

Atomowe lęki na płaszczyźnie czysto energetycznej zostały gwałtownie podsycone w roku 1979. Wtedy też doszło do incydentu w elektrowni Three Mile Island w USA. Na skutek awarii jednego z jej systemów częściowo stopił się jeden z reaktorów i do środowiska uwolniły się substancje radioaktywne. Wypadek oceniono na stopień 5. w 7-stopniowej skali INES*. Choć nikt w tamtym zdarzeniu

* Skala określana akronimem INES (ang. *International Nuclear and Radiological Event Scale*), czyli Międzynarodowa Skala Wydarzeń Nuklearnych i Radiologicznych, jest międzynarodowym systemem używanym do klasyfikacji i oceny zdarzeń nuklearnych i radiologicznych pod względem ich znaczenia. Celem INES jest umożliwienie jednoznacznej i porównywalnej oceny wypadków i incydentów związanych z energią jądrową, aby

bezpośrednio nie ucierpiał, to praktycznie zbiegło się ono w czasie z premierą filmu *Chiński syndrom*^{*}, który opowiadał o... awarii w elektrowni jądrowej, polegającej na stopieniu się rdzenia reaktora. Sam tytuł produkcji wziął się z żargonu fizyków jądrowych szacujących ryzyko takiego wypadku w reaktorze jądrowym, który spowodowałby wydzielenie na tyle dużych ilości ciepła, by jednostka zaczęła zagłębiać się we wnętrze Ziemi. Żartobliwie mówiono, że w takiej sytuacji reaktor wszedłby w planetę jak nóż w masło i przeszedł przez jej środek aż do Chin, co w rzeczywistości nie jest możliwe. Niemniej jednak obraz zyskał popularność na fali wywołanej przez incydent w Three Mile Island, a Jane Fonda, która grała w nim główną rolę, wkrótce po wejściu filmu na ekrany kin rozpoczęła w USA intensywne kampanię antyatomową. Jej akcja doprowadziła

publiczność, organy regulacyjne i społeczność międzynarodowa mogły łatwiej zrozumieć powagę zdarzenia i podejmować odpowiedzialne działania.

* Innym ciekawym filmem, w którym energia jądrowa gra ważną rolę, jest obraz z 1964 roku *Doktor Strangelove, czyli jak przestałem się martwić i pokochałem bombę*, w reżyserii Stanleya Kubricka. Produkcja ta opowiada w zasadzie kawałek historii amerykańskiego projektu jądrowego. Tytułowa postać to niemiecki naukowiec, ewidentny nazista zwracający się do prezydenta USA per *Mein Führer*, który zostaje znaturalizowanym Amerykaninem, żeby rozwijać technologię nuklearną. Twórcy owej czarnej komedii wprost mówili, że postać doktora Strangelove'a jest satyrą na Wernhera von Brauna.

do ataku serca jednego z ojców amerykańskiej atomistyki Edwarda Tellera – przynajmniej sam fizyk obwinił za to aktorkę w artykule *Byłem jedyną ofiarą Three Mile Island* opublikowanym na łamach „The Washington Post”.

Najpoważniejszym wypadkiem jądrowym, do jakiego kiedykolwiek doszło, była katastrofa w Czarnobylu**. Mało jest wydarzeń w historii energetyki i świata, które obrosły porównywalną warstwą mitów i półprawd. Co ważne, dokładne przeanalizowanie tamtego incydentu pozwala zrozumieć, że zawiodła nie technologia jądrowa, lecz patologiczny ustrój komunistyczny, który wypaczył pojęcie odpowiedzialności i umożliwił podejmowanie serii błędnych, fatalnych w skutkach decyzji. W 1983 roku w Czarnobylskiej Elektrowni Jądrowej im. Lenina do użytku oddano czwarty blok energetyczny wyposażony w reaktor typu RBMK (Реактор Большой Мощности Канальный [Reaktor Kanałowy Dużej Mocy]). Moderatorem w takich jednostkach był grafit, który miał to do siebie, że w niektórych sytuacjach awaryjnych znacząco utrudniał kontrolowanie reaktora.

Splot okoliczności, który doprowadził do tragedii, zaczął zawiązywać się 25 kwietnia 1986 roku. Wtedy to

** Por. T. Ilnicki, *Czarnobyl i Fukushima. Przyczyny, przebieg i konsekwencje*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2022.

w Czarnobylu rozpoczęto przygotowania do testów technicznych awaryjnego zasilania reaktora. Celem tych badań było ustalenie, jak długo - po wyłączeniu jednostki - może ona samodzielnie zaspokajać potrzeby energetyczne własnych systemów (na przykład chłodzenia). Przeprowadzenie doświadczenia wymagało zmniejszenia mocy cieplnej reaktora do 600 MW. Nadzór nad próbą sprawował zastępca naczelnego inżyniera do spraw eksploatacji bloków energetycznych numer trzy i cztery Anatolij Diatłow. Miał on do dyspozycji grupę specjalistów, którzy od rana oczekiwali na odłączenie reaktora od sieci i rozpoczęcie eksperymentu. Około godziny 9.00 rozpoczęto zmniejszanie mocy reaktora do poziomu 50%. Jednakże procedurę przerwał komunikat z dyspozytorni mocy w Kijowie - operator domagał się opóźnienia testów z uwagi na problemy techniczne innej elektrowni, która wstrzymała nagle produkcję energii elektrycznej. Odłączenie reaktora w Czarnobylu mogłoby skutkować niedoborami mocy - reaktor musiał pracować i wytwarzać energię elektryczną, więc eksperyment przełożono.

W czarnobylskiej elektrowni przez prawie cały dzień oczekiwano na zielone światło ze strony Kijowa. Wreszcie o godzinie 23.04 dyspozytornia udzieliła zgody na odłączenie reaktora. Tymczasem pracownicy zmiany

popołudniowej zaczęli szykować się do wyjścia, nocna zmiana miała rozpocząć pracę o północy. Gdy doszło do wymiany obsady, członkowie nowej załogi nie byli przygotowani na przeprowadzenie eksperymentu – nikt ich nie powiadomił, że test został przesunięty; według ich wiedzy miał się on odbyć za dnia. Sytuacja była zatem zaskoczeniem zarówno dla szefa nocnej zmiany Aleksandra Akimowa, jak i dla Leonida Toptunowa odpowiedzialnego za obsługę testowanego reaktora. Co ważne, Toptunow był inżynierem z zaledwie trzymiesięcznym stażem, miał więc bardzo niewielkie doświadczenie. Załoga przystąpiła do zmniejszania mocy reaktora z 3200 MW do około 700 MW. Jednakże taka redukcja mocy zaczęła powodować wydzielanie się ksenonu, a dokładnie: izotopu ksenon 135. Około godziny 1.00 w nocy 26 kwietnia ksenon, który nagromadził się w reaktorze podczas jego pracy w warunkach małej mocy, spowodował tak zwane zatrucie ksenonowe, kiedy to ów izotop zaczyna w reaktorze silnie pochłaniać neutrony, co znacznie obniża reaktywność. Dlatego moc reaktora zmniejszyła się gwałtownie do zaledwie 30 MW, a więc do poziomu dwudziestokrotnie niższego niż ten, na którym miał być przeprowadzany eksperyment. Załoga nie była świadoma niebezpieczeństwa, gdyż jednostka typu RBMK nie miała odpowiednich

instrumentów kontrolnych i diagnostycznych, co uniemożliwiło wykrycie zatrucia ksenonowego. Pracownicy uznali, że zmniejszenie mocy wynikało z awarii regulatora, chcąc zatem zwiększyć moc jednostki, zdecydowali o wysunięciu prętów kontrolnych. Typowo powodowało to naruszenie poziomów bezpieczeństwa, co było obwarowane blokadami, dlatego też operatorzy musieli wyłączyć automatyczne mechanizmy blokujące i wysunąć pręty kontrolne ręcznie. W następstwie tych działań reaktor zwiększył moc do 200 MW. Ta niepokojąca sytuacja została jednak zlekceważona przez kierującego całą procedurą Diatłowa - nakazał on kontynuować test, mimo że reaktor działał z trzykrotnie mniejszą mocą niż ta, która miała być pułapem wyjściowym eksperymentu. Załoga, w odpowiedzi na polecenie, zwiększyła obieg wody chłodzącej, włączając dwie dodatkowe pompy. W ten sposób woda zredukowała moc reaktora, gdyż - będąc w stanie ciekłym - pochłania ona neutrony lepiej niż para. Moc należało zwiększyć, dlatego też operatorzy podjęli decyzję o dalszym wysunięciu prętów kontrolnych. Wszelkie pomysły zespołu dotyczące przerwania i odroczenia eksperymentu zostały szybko ucięte przez Diatłowa. Ten z jednej strony miał opinię choleryka, a z drugiej - kierował się interesem swoim oraz całego kolektywu, chcąc

mieć powód do pochwalenia się osiągnięciem podczas zbliżającego się Święta Pracy (wypadającego 1 maja). Ze względu na zachodzące w reaktorze procesy około godziny 1.20 był on już skrajnie niestabilny. Wyłączony automatyczny system bezpieczeństwa nie mógł spełnić swojego zadania, a wciąż nieświadoma zagrożenia załoga traciła ostatnie szanse na opanowanie reaktora.

O godzinie 1.23 rozpoczął się właściwy eksperyment, czyli wygaszenie reaktora i test możliwości jego samodzielnej pracy. Odcięto przepływ pary do generujących energię turbin, które przestały pracować. To z kolei przełożyło się na zmniejszenie przepływu wody chłodzącej w reaktorze. Następnie Akimow wcisnął przycisk AZ-5, który uruchamiał procedurę wygaszania reaktora poprzez całkowite wsunięcie doń prętów kontrolnych i zatrzymanie reakcji. Procedura okazała się jednak nieskuteczna ze względu na swą powolność i konstrukcję prętów, których końcówki (opuszczane w pierwszej kolejności) wykonane są z grafitu, co spowodowało skutek odwrotny do zamierzonego. Pręt kontrolny z boru i kadmu miał za zadanie zatrzymać reakcję jądrową, jednakże umieszczony na nim grafit odwrócił sytuację o 180 stopni. Grafit – jako moderator – zwiększa reaktywność, bo umożliwia efektywniejsze wychwytywanie neutronów przez jądra atomowe.

Ze względu na obecność grafitu moc czarnobylskiej jednostki typu RBMK zwiększyła się gwałtownie – w ciągu zaledwie trzech sekund do poziomu 530 MW. Operatorzy testu usłyszeli niepokojące odgłosy (wydawały je pręty uderzające o elementy rdzenia), dlatego podjęli decyzję o awaryjnym zrzucie prętów bezpieczeństwa – poprzez odcięcie zasilania elektromagnesów, które utrzymywały je nad reaktorem. Resztę „zrobiła” grawitacja. Sytuacja była już jednak beznadziejna – nastąpił tak zwany kryzys wrzenia, temperatura paliwa zaczęła szybko rosnąć, a następnie uszkodził się rdzeń i ciekłe, stopione paliwo wytrysnęło do chłodziwa. O godzinie 1.23.47 moc cieplna reaktora w Czarnobylu osiągnęła poziom 30 GW. Sekundę później doszło do pierwszej eksplozji w reaktorze wskutek wydzielenia mieszaniny piorunującej (tj. wodoru i tlenu w odpowiednich proporcjach). O godzinie 1.24 nastąpiła druga, potężniejsza eksplozja wodoru, która wysadziła pokrywę reaktora (o wadze 1200 ton) i zniszczyła budynek czwartego bloku elektrowni. Do atmosfery zaczęły się uwalniać izotopy promieniotwórcze.

Cztery minuty później na miejsce przybyli pierwsi strażacy. To oni otrzymali największe dawki promieniowania. Nie informowano ich o tym, co im zagraża – nie zdawali sobie nawet sprawy, że walczą z pożarem

reaktora jądrowego. Akcja gaśnicza miała się dopiero zaczynać. Ostatecznie pochłonęła olbrzymie środki. Przelatujące nad elektrownią śmigłowce (a loty liczone w tysiącach) zrzuciły na odsłonięty reaktor piasek, ołów, glinę i bor. Setki pilotów helikopterów wystawiało się na promieniowanie, narażało swoje życie. Niektórzy zginęli w trakcie tej operacji - jeden ze śmigłowców zaplątał się w trudno dostrzegalne olinowanie dźwigu w pobliżu reaktora numer cztery. Maszyna runęła na ziemię. Nikt z załogi nie przeżył.

Po około 36 godzinach od awarii sowieckie władze podjęły decyzję o ewakuacji pobliskiego miasta Prypeć. Komuniści zdawali sobie sprawę, że katastrofa spowodowała uwolnienie do atmosfery olbrzymich ilości materiałów promieniotwórczych (był to głównie jod 131 oraz cez 137), ale nie informowali o tym ani społeczności miejscowej, ani międzynarodowej. Moskwa ustawiła szczelną blokadę informacyjną wokół czarnobylskiej elektrowni. Nawet państwa bloku sowieckiego nie były informowane o wydarzeniach. Świat dowiedział się o Czarnobylu dwa dni po incydencie dzięki... pracownikom szwedzkiej elektrowni jądrowej Forsmark. Działające tam czujniki wykryły podwyższone poziomy promieniowania i aktywowały alarm. Po przeprowadzeniu inspekcji władze

elektrowni doszły do wniosku, że źródłem nie są materiały radioaktywne stosowane na terenie Forsmark, lecz czynnik zewnętrzny. Sprawę zgłoszono do szwedzkiego urzędu dozoru jądrowego, który wysnuł hipotezę, że podwyższone poziomy promieniowania w elektrowni to efekt skażenia, które dotarło nad Szwecję z terenu ZSRS, najprawdopodobniej wskutek awarii którejś z elektrowni jądrowych. Szwedzi skontaktowali się z Sowieciami, którzy początkowo stanowczo zaprzeczali, jakoby na ich terytorium doszło do jakiegokolwiek incydentu. Dopiero gdy Szwecja zapowiedziała, że ogłosi oficjalny alarm na forum Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA), z Moskwy nadesłało odpowiedź wyjaśniającą, że źródłem skażenia promieniotwórczego jest elektrownia w Czarnobylu, w której doszło do katastrofy. Wkrótce Europejczyków poinformowano o radioaktywnej chmurze nadciągającej ze wschodu. Wieść wywołała przerażenie – rozpoczęto szeroko zakrojone akcje ochrony ludności, zwłaszcza w krajach graniczących z ZSRS. Warszawa dysponowała wiedzą o skażeniu już od wczesnych godzin porannych 28 kwietnia, kiedy to stacja monitoringu radiacyjnego Służby Pomiaru Skażeń Promieniotwórczych w Mikołajkach odnotowała aktywność izotopów promieniotwórczych w powietrzu.

Początkowo polscy naukowcy sądzili, że w grę może wchodzić wybuch bomby jądrowej, jednak hipotezę tę obaliła analiza zanieczyszczeń. Kilkanaście godzin po zarejestrowaniu skażenia do Polski napłynęły informacje (podawane przez BBC), że za sytuację odpowiadają Sowieci i jednostka w Czarnobylu. 29 kwietnia, po wielogodzinnych obradach Biura Politycznego, kierownictwo Polskiej Zjednoczonej Partii Robotniczej zdecydowało się uruchomić program podawania płynu Lugola, który miał chronić ludzką tarczycę przed promieniotwórczym jodem 131, zapobiegając jego wychwytywaniu przez ten wrażliwy narząd. Wydano też nakaz wstrzymania wypasu bydła oraz zalecenia niespożywania świeżych owoców i warzyw.

Zasięg skażenia promieniotwórczego objął obszar 125-145 tysięcy kilometrów kwadratowych, a chmura radioaktywna dotarła nad większość kontynentu europejskiego. Jednak - wbrew narracji medialnej i późniejszym nieprawdziwym doniesieniom - straty osobowe wynikające z katastrofy w Czarnobylu były względnie nieduże. Według ustaleń UNSCEAR* i MAEA w wyniku eksplozji

* United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Komitet Naukowy ONZ do spraw Skutków Promieniowania Atomowego.

w budynku reaktora zginęły dwie osoby. W ciągu kolejnych trzech miesięcy zmarło też 29 uczestników akcji ratunkowej – w 28 przypadkach przyczyną śmierci była choroba popromienna, w jednym przypadku zatrzymanie pracy serca. Do grona bezpośrednich ofiar katastrofy zalicza się zatem 31 osób. W latach 1987–2006 potwierdzono też śmierć 19 spośród 106 osób, które pracowały na miejscu awarii i otrzymały wysokie dawki promieniowania (jak podaje raport UNSCEAR, niektóre z tamtych zgonów nie były związane z ekspozycją na materiały radioaktywne). Do ofiar Czarnobyla zalicza się także 4 pilotów śmigłowca, którzy zginęli w wypadku przy reaktorze. Bilans potwierdzonych zgonów katastrofy to zatem 54 osoby. Nie potwierdziły się natomiast obawy dotyczące powszechnego zwiększenia zapadalności na choroby związane z wystawieniem na podwyższone dawki promieniowania. Po 1986 roku prowadzono liczne badania wśród osób, które zamieszkiwały obszary najbardziej dotknięte skażeniem. Nie zanotowano także nadmiernej liczby przypadków zachorowań na białaczkę czy inne nowotwory ani obciążenia chorobami dziedzicznymi czy powikłań porodowych*.

* T. Ilnicki, *Czarnobyl i Fukushima*, dz. cyt.

Czarnobyl zachwiał posadami ZSRS. Usuwanie skutków awarii, wymagające miliardowych nakładów i udziału 600 tysięcy osób, było dla państwa sowieckiego nie do udźwignięcia. Przyspieszyło to najprawdopodobniej dekompozycję kolosa na glinianych nogach, która nastąpiła 5 lat po zdarzeniu w czarnobylskiej elektrowni jądrowej, a zbudowany wokół tamtejszego reaktora sarkofag stał się także grobowcem imperium Sowietów. Incydent i jego następstwa zdewastowały przy okazji światowy przemysł jądrowy. Spowodowane przez Czarnobyl straty w rozwoju technologii nuklearnej są trudne do opisanania i wyliczenia. Katastrofa stała się jego punktem zwrotnym. Po dwóch doskonałych dla atomu latach, kiedy to rocznie oddawano do użytku około 32 GW nowych mocy jądrowych, w roku 1990 przyrost mocy zainstalowanej w energetyce nuklearnej świata wyniósł tylko 10 GW, a przez całe lata 90. rzadko kiedy przekraczał pułap 5 GW rocznie.

Lęk przed powtórką z 1986 roku do dziś jest udziałem wielu grup społecznych. Wypadek wzmocnił też niebывale społeczne ruchy antyatomowe. Ci, którzy straszą nową katastrofą na wzór tamtej czarnobylskiej, nie dostrzegają zazwyczaj, że wypadek w ZSRS stał się także siłą napędową do dalszego wzmacniania bezpieczeństwa jednostek nuklearnych. Organizacje międzynarodowe oraz

inżynierowie jądrowi wyciągnęli wnioski z tamtego incydentu i dołożyli wszelkich starań, aby nie mógł się on powtórzyć, nawet przy założeniu intencjonalności. Czarnobyl spotkał się z silnym oddźwiękiem także w Polsce. Uwaga opinii publicznej skupiła się wtedy na budowanej na naszym wybrzeżu elektrowni jądrowej w Żarnowcu. Zaczęto organizować protesty przeciwko jej powstaniu, a samą jednostkę określono mianem Żarnobyła. Sprzeciw społeczny nie zatrzymał jednak budowy – koniec projektu w Żarnowcu nastąpił dopiero w czasach transformacji polityczno-gospodarczej Polski, a przyczyniły się do tego trudności ekonomiczne oraz... nacisk ze strony górniczych związków zawodowych.

Pod koniec pierwszej dekady XXI wieku świat zaczął się ponownie oswajać z energetyką jądrową. Przybierająca na sile polityka klimatyczna zwiększyła zapotrzebowanie na bezemisyjną energię, tymczasem źródła odnawialne wciąż jeszcze nie mogły go zaspokoić; zwrot w kierunku energetyki nuklearnej był zatem logiczny. W niektórych krajach zaczęło mówić się o renesansie atomu – dostępna na rynku trzecia generacja reaktorów (Gen III) dawała nadzieję na wielki powrót tej technologii. I wtedy doszło do kolejnej katastrofy – awarii w japońskiej elektrowni jądrowej Fukushima Dai-ichi. 11 marca

2011 roku o godzinie 14.46 czasu japońskiego (JST), na wschód od japońskiego wybrzeża doszło do potężnego trzęsienia ziemi. Jego hipocentrum znajdowało się około 130 kilometrów od wybrzeża Tōhoku, czyli regionu, w którym znajduje się prefektura Fukushima, gdzie działała elektrownia jądrowa Fukushima Dai-ichi. Trzęsienie było bardzo silne i długie – trwało aż trzy minuty, podczas gdy większość tego typu zjawisk nie trwa dłużej niż 60 sekund. Nie zakłóciło ono jednak funkcjonowania elektrowni. Kiedy wstrząsy ustały, personel jednostki Fukushima Dai-ichi rozpoczął wdrażanie procedur awaryjnych oraz szacowanie strat. W ramach tychże procedur wyłączono trzy reaktory pracujące w elektrowni (pozostałe trzy były wyłączone już wcześniej, przed trzęsieniem – trwały w nich akurat rutynowe testy bezpieczeństwa). W trakcie przeglądu stanu jednostki załoga elektrowni odnotowała, że trzęsienie ziemi zniszczyło sieci elektroenergetyczne biegnące do Fukushimy Dai-ichi. Tym samym elektrownia została pozbawiona dostępu do zewnętrznych źródeł zasilania, co – jak się okazało – było brzemienne w skutkach*. Wówczas to w jednostce włączyły się awaryjne generatory dieslowskie,

* Por. T. Ilnicki, *Czarnobyl i Fukushima*, dz. cyt.

które miały podtrzymać funkcjonowanie systemów chłodzenia reaktorów. Dzięki nim personel elektrowni – zajęty szacowaniem strat i opatrywaniem rannych pracowników – miał też oświetlenie.

Wkrótce po trzęsieniu ziemi Japonia doświadczyła kolejnej katastrofy – tsunami. Jego potężne fale dotarły także do fukushimskiej elektrowni. Pierwsze z nich nie wyrządziły w jednostce żadnych szkód, ale o godzinie 15.46 czasu lokalnego w Fukushima Dai-ichi uderzyła fala o wysokości 14 metrów, znacząco przewyższająca zabezpieczenia konstrukcyjne jednostki. Elektrownię zbudowano tak, aby była odporna na uderzenia tsunami o wysokości do 10 metrów. Potężniejsze fale zdarzają się w Japonii ekstremalnie rzadko; uchodzą za tak zwane zjawisko nadprojektowe. Innymi słowy, ryzyko jego wystąpienia jest tak małe, że nie opłaca się przed nim zabezpieczać. Niestety, „rzadko” nie znaczy „nigdy”.

Jednak niedostatki w zabezpieczeniach przeciwwalowych nie przesądziły jeszcze o katastrofie. Do awarii w Fukushimie Dai-ichi nie doszłoby, gdyby system awaryjnego zasilania zainstalowano na odpowiedniej wysokości, chroniącej przed zalaniem. Stało się jednak inaczej. Kiedy potężna fala przelała się przez mury oporowe i wdarła na teren elektrowni, woda zalała generatory

dieslowskie, które były ulokowane zbyt nisko. W ten sposób tsunami wyłączyło zasilanie w jednostce. W reaktorach Fukushima działały już tylko systemy zasilane parą.

Personel elektrowni próbował opanować sytuację, ale był na przegranej pozycji – bez zasilania pracownicy musieli działać w ciemnościach, wykorzystując jedynie najbardziej podstawowe narzędzia. Nie stracili jednak ducha i pomysłowości – w pewnym momencie zdecydowali się wyciągnąć ze swoich prywatnych samochodów akumulatory, aby w ten sposób spróbować zasilić sprzęt potrzebny do akcji. Niestety, nie udało im się uruchomić awaryjnego systemu chłodzenia. W reaktorze numer jeden temperatura systematycznie się podwyższała. W miarę upływu czasu sytuacja się pogarszała – wraz z temperaturą podwyższeniu ulega też ciśnienie, a obniża poziom wody (w Fukushimie pracowały jednostki typu BWR). O godzinie 21.00 poinformowane o niebezpieczeństwie awarii władze rozpoczęły ewakuację ludzi mieszkających w promieniu najpierw 3, a potem 10 kilometrów od elektrowni. W nocy z 11 na 12 marca rdzeń reaktora numer jeden (z którego kontrolnie wypuszczono parę) stopił się prawie doszczętnie, ale pozbawieni instrumentów kontrolnych pracownicy nie byli tego świadomi. Sytuacja wymknęła się całkowicie spod kontroli około godziny 15.36,

czyli prawie 24 godziny po uderzeniu tsunami. Wtedy też w reaktorze numer jeden wybuchł wodór. Eksplozja uszkodziła istotną część zabezpieczeń jednostki i raniła 5 pracowników elektrowni, ale nie naruszyła obudowy bezpieczeństwa. Równoległe procesy o podobnie niebezpiecznym charakterze zaczęły zachodzić w reaktorach numer dwa i numer trzy. W tej ostatniej jednostce 14 marca nastąpił kolejny wybuch. Do eksplozji doszło także przy składowisku zużytego paliwa w reaktorze numer cztery. Odnotowano również wzrost promieniowania. 17 marca do fukushimskiej elektrowni wprowadzono służby ratunkowe* z ciężkim sprzętem, przede wszystkim z helikopterami japońskich sił samoobrony, które rozpoczęły zrzuty wody. Na miejscu pracowały również policja oraz straż pożarna, które spryskiwały reaktor numer trzy, starając się go chłodzić. Z kolei inżynierowie doprowadzili kabel zasilania do reaktora numer dwa. W ciągu następných dwóch dni do Fukushimy dotarły też zastępy straży pożarnej z Tokio i Osaki wraz z pojazdami gaśniczymi. Opanowywanie sytuacji w elektrowni Fukushima Dai-ichi trwało jeszcze kilka miesięcy. Dopiero 16 grudnia

* Japończycy zmagali się równoległe z usuwaniem zniszczeń, które wywołało tsunami – ogromne fale zabiły wtedy w Japonii około 20 tysięcy osób, zniszczyły też na przykład infrastrukturę komunikacyjną, co utrudniło akcję ratunkową.

2011 roku japońska spółka energetyczna TEPCO, która była operatorem elektrowni, oświadczyła, że na terenie jednostki zakończył się pierwszy etap prac związanych z katastrofą. Tę datę przyjmuje się za koniec kryzysu.

Awaria w Fukushima przyniosła ze sobą potężne straty materialne (wycenianie na około 100 miliardów euro), ale nie wyrządziła szkód życiu i zdrowiu ludzi. Bezpośrednio wskutek zdarzeń radiacyjnych w katastrofie nie zginął nikt; dopiero w 2018 roku japoński sąd zasądził odszkodowanie na rzecz rodziny człowieka, który miał umrzeć z powodu choroby popromiennej. To jedyny przypadek wliczany w bilans zgonów radiacyjnych związanych z awarią w Fukushima Dai-ichi. Według Światowej Organizacji Zdrowia po 2011 roku w Japonii nie odnotowano wzrostu zachorowań na nowotwory; władze prefektury Fukushima - na podstawie 10-letniego programu badań kobiet w ciąży i matek karmiących - nie stwierdziły żadnego zauważalnego wpływu substancji promieniotwórczych. Zagrożenia dla ludzi i środowiska nie stworzyła też wykorzystywana podczas akcji ratunkowej woda, do której przedostały się materiały radioaktywne. Przeprowadzane badania wykazały, że radioaktywność ryb wyłowionych w pobliżu Fukushimy nie stanowi niebezpieczeństwa dla zdrowia ludzi w razie spożycia (wzrosła ona nieznacznie).

Obecnie 95% powierzchni elektrowni Fukushima Dai-ichi jest dostępne bez żadnej ochrony antyradiacyjnej*.

W reakcji na katastrofę rząd w Tokio zdecydował się wygasić wszystkie 54 reaktory jądrowe, żeby poddać je drobiazgowym testom bezpieczeństwa uwzględniającym wnioski płynące ze zdarzenia z 2011 roku. Był to ruch opłakany w skutkach, jeśli chodzi nie tylko o ekonomiczną stronę japońskiej gospodarki (koszty energii wzrosły o 20-30%), ale także o jej emisyjność. Wygaszone jednostki musiały zostać zastąpione przez elektrownie zasilane paliwami kopalnymi, w wyniku czego emisja dwutlenku węgla w Japonii wzrosła o około 10% w stosunku do poziomu z 1990 roku. Innymi słowy, rok 2011 zniweczył wysiłki Tokio ukierunkowane na wykonywanie postanowień Protokołu z Kioto z 1997 roku, który zakładał redukcję emisji w odniesieniu do roku 1990.

Jednakże nawet po traumie Fukushima japońskie władze rozumiały, że bez energetyki jądrowej kraj będzie się rozwijał wolniej i znacznie wyższym kosztem. Japonia jest praktycznie pozbawiona własnych złóż surowców energetycznych - polega prawie w całości na imporcie, który bywa niestabilny i ryzykowny politycznie

* T. Ilnicki, *Czarnobyl i Fukushima*, dz. cyt.

i ekonomicznie. Dlatego rząd w Tokio poza pracami dotyczącymi bezpieczeństwa elektrowni jądrowych rozpoczął działania na rzecz rozwiewania antyatomowych nastrojów i lęków, jakie pojawiły się w japońskim społeczeństwie.

Przed katastrofą w Fukushima pogląd o nieodzowności energetyki jądrowej podzielało aż 77,4% japońskiego społeczeństwa. Po 2011 roku odsetek ten stopnił do 37,7% (co mimo wszystko i tak jest niezłym wynikiem). Liczba przeciwników zwiększyła się sześciokrotnie (z 4,1% do 25,2%), a liczba osób zdezorientowanych – dwukrotnie (aż 35,9%). Awaria zrodziła u Japończyków wiele wątpliwości – co trzeci z nich nie potrafił określić swojego zdania w kwestii przyszłości energetyki jądrowej.

Aby temu zaradzić, japońskie władze postawiły na rzetelną edukację. W pierwszej kolejności rozpoczęto szeroko zakrojone badania statystyczne dotyczące mapowania lęków społecznych związanych z energetyką jądrową. Jak się okazało, Japończycy obawiali się głównie konsekwencji zdrowotnych awarii oraz długotrwałego skażenia żywności, gleby i powietrza. Żeby zredukować te lęki, japońska Agencja Energii Atomowej wysłała w teren dziesiątki specjalnie przeszkolonych ekspertów i instruktorów, którzy w bezpośrednich rozmowach i warsztatach udzielali

mieszkańcom wyjaśnień oraz niwelowali dezinformacje pojawiające się w przestrzeni medialnej. Tak prowadzona akcja edukacyjna przyniosła pozytywny skutek: Japonia wraca dziś do atomu. Obecnie władze w Tokio zdecydowały się na ponowne uruchomienie 10 reaktorów; kolejne 16 oczekuje na zgodę na restart i produkcję energii.

Japonia to przykład kraju, który pragmatycznie podszedł do technologii jądrowej oraz szans i zagrożeń, jakie się z nią wiążą. W japońskiej kalkulacji górę wzięły fakty, a nie emocje, dlatego mimo zdarzenia w Fukushima energetykę jądrową w Kraju Kwitnącej Wiśni udało się uratować. Jeśli chodzi o podejście do tej kwestii, na drugim jego biegunie znajdują się Niemcy, czyli państwo, które - w reakcji na katastrofę w Japonii - zdecydowało się przyspieszyć wygaszanie własnych elektrowni jądrowych. Niemieckim jednostkom nie zagrażało żadne ze zjawisk, które doprowadziły do awarii w Fukushima, a jednak Berlin dopiął swego i w ciągu 12 lat od wypadku w japońskiej elektrowni wygasił całą swoją „flotę” jądrową (w kolejnych rozdziałach szerzej omawiam ten ruch ze strony Niemiec).

Energetyka jądrowa wciąż bywa piętnowana jako technologia zagrażająca człowiekowi, co jest jaskrawo sprzeczne z rzeczywistością. Mimo zdarzeń w Three Mile Island, Czarnobylu i Fukushima energetyka jądrowa

jest wciąż najbezpieczniejszym sposobem generowania energii elektrycznej. Świadczą o tym chociażby wyliczenia Jamesa Concy'ego*, który ustalił, że na świecie liczba zgonów wywołanych wygenerowaniem biliona kilowatogodzin przez energetykę jądrową wynosi 90 osób, podczas gdy w przypadku amerykańskiego atomu – zaledwie 0,1 osoby. Dla porównania, wytworzenie takiej liczby kilowatogodzin z węgla oznacza średnio w skali świata śmierć około 100 tysięcy osób. Znacznie bardziej niebezpieczna jest chińska energetyka węglowa, gdyż produkcja biliona kilowatogodzin w Państwie Środka wiąże się ze 170 tysiącami zgonów**.

Energetyce jądrowej usilnie przyklejają łatkę „technologii niebezpiecznej” antyatomowi aktywiści (zrzeszeni również w rozmaitych formacjach). Jak wspominałem wcześniej, ruchy te zrodziły się jeszcze w latach 60. i 70., na kanwie nieistniejącego już powiązania reaktorów jądrowych z produkcją broni nuklearnej. Katastrofy w elektrowniach nuklearnych dały ich przeciwnikom

* Por. <https://www.forbes.com/sites/jamesconca/2012/06/10/energys-deathprint-a-price-always-paid/#1cbca45709b7> [dostęp: 18.08.2023].

** Zgony te to efekt między innymi niebezpiecznej pracy przy wydobyciu węgla, a także skutek zanieczyszczeń powietrza wywołanych jego spalaniem.

nowe, silniejsze paliwo i pchnęły ich do rozpaczliwych wręcz demonstracji, ale jeszcze przed 1986 rokiem potrafili oni sięgać po bardzo radykalne rozwiązania. Przykładem może być ostrzelanie w 1982 roku budowanej we Francji elektrowni Superphénix pociskami z granatnika RPG-7. Rakiety nie wyrządziły praktycznie żadnych szkód elektrowni. Konstrukcja ze wzmocnionego betonu zniosła atak bez szwanku, nie dając nawet podstaw pod ewentualne roszczenia odszkodowawcze. Do zamachu - po 21 latach - przyznał się Chaïm Nissim, aktywista ekologiczny i przeciwnik atomu. W trzy lata od zdarzenia na Superphénix Nissim został wybrany z ramienia Partii Zielonych do legislatury szwajcarskiego kantonu Genewy.

Obecnie energetyka jądrowa przeżywa prawdziwy renesans. Kolejne państwa, nawet te, które do niedawna były przeciwnikami atomu, decydują się odrzucić mity dotyczące tej technologii i uwzględnić ją w swoich planach transformacji energetycznej. Stało się tak na przykład we Włoszech, które w 2023 roku zadeklarowały włączenie energetyki jądrowej do swojej strategii energetycznej. To zmiana o 180 stopni w stosunku do roku 1987, kiedy to włoskie władze - na fali obaw związanych z katastrofą w Czarnobylu - odeszły od atomu i wygasiły wszystkie swoje elektrownie jądrowe. Zupełnie nowa

debata na temat otwarcia na energetykę jądrową trwa także w skrajnie antyatomowych Australii i Danii. Lęki dotyczące atomu powoli odchodzą w przeszłość.

Argumentem, który powinien definitywnie zakończyć spory na temat tego, czy energetyka jądrowa to technologia bezpieczna czy nie, jest tocząca się od 24 lutego 2022 roku pełnoskalowa inwazja Rosji na Ukrainę. Podczas wojny ukraińska energetyka w dużej mierze opierała się właśnie na elektrowniach jądrowych, które dostarczały energię obrońcom kraju. I choć rosyjscy agresorzy regularnie uderzali w ukraiński system elektroenergetyczny, ostrzeliwując elektrownie, stacje rozdzielcze i infrastrukturę przesyłową, to jednak ataki te nie były wymierzone w jednostki jądrowe. Destrukcja elektrowni jądrowej nie leżała w interesie taktycznym ani strategicznym żadnej ze stron. Owszem, Rosja prowadziła przy nich działania wojenne (łamając w ten sposób prawo międzynarodowe) i niekiedy wskutek tych operacji ukraińskie elektrownie jądrowe znajdowały się pod ostrzałem, jednak bez intencji zniszczenia danego obiektu, w odróżnieniu od ataków wymierzonych w inne elementy systemu energetycznego Ukrainy. Działo się tak ze względu na to, że zniszczenie elektrowni jądrowej jest niezmiernie trudne i w przeważającej większości przypadków nie przysparza żadnych

korzyści. Żeby skutecznie uszkodzić jednostkę jądrową, należy przebić się przez kopułę i obudowę reaktora, a następnie zniszczyć sam reaktor, który często znajduje się pod ziemią. Nie da się tego zrobić bronią konwencjonalną; taka operacja wymaga specjalnych pocisków precyzyjnych o dużych możliwościach penetracyjnych*. Natomiast nawet skuteczne zniszczenie elementów ochrony reaktora może przynieść atakującemu rezultat w postaci niewielkiego lokalnego skażenia, odczuwalnego w promieniu kilku czy kilkunastu kilometrów. Trudno nazwać to istotną zdobyczą strategiczną; jeszcze trudniej wkomponować taki manewr w realne działania wojenne. Znacznie prościej uczynić z elektrowni jądrowych magazyny czy przyczółki – tak właśnie Rosjanie postąpili z zajęętą przez nich Zaporoską Elektrownią Jądrową, która z racji położenia stała się frontowym magazynem broni i sprzętu. Niemniej jednak od 24 lutego 2022 roku do zakończenia prac nad niniejszą książką żadna z ukraińskich

* O tym, jak wytrzymałe są konstrukcje jądrowe, może świadczyć dostępny w internecie film pokazujący, jak Amerykanie testowali model ściany elektrowni jądrowej, rozbijając o niego... myśliwiec F-4 Phantom. Z maszyny zostały drzazgi, podczas gdy ściana wyszła z testu praktycznie bez szwanku. Eksperyment ten ma duże znaczenie, gdyż współcześnie jednostki jądrowe konstruuje się tak, aby wytrzymały uderzenie największego samolotu pasażerskiego dostępnego w czasie budowy elektrowni.

elektrowni jądrowych nie stworzyła realnego zagrożenia poważną awarią, mimo ekstremalnie trudnych warunków, w których musiały pracować. Warto raz jeszcze podkreślić, że Rosja, prowadząc w warunkach wojny operacje wojskowe przy obiektach jądrowych, naruszyła kolejne przepisy prawa międzynarodowego*, dodając do długiej listy przestępstw popełnianych przez to zbrodnicze państwo także działania przeciwko bezpieczeństwu jądrowemu.

Istnieje jeszcze inna płaszczyzna, na której wykorzystuje się energię jądrową – medycyna. Dzięki badawczym reaktorom jądrowym możliwe jest produkowanie radioizotopów medycznych, czyli substancji, które pomagają osobom chorym na nowotwory. Jedną z jednostek, która wytwarza takie materiały, jest polski reaktor MARIA, działający w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Otwocku pod Warszawą. Produkowane przez MARIE substancje mają różne formy. Są to na przykład bomby kobaltowe, czyli kobalt 60 w postaci metalicznej, służącej do napromieniania nowotworów; igiełki do brachyterapii polegającej na umieszczaniu ich w zmienionej

* Przede wszystkim zaś Konwencję w sprawie bezpieczeństwa jądrowego z 1994 roku, która nakłada na strony (w tym na Rosję) obowiązek priorytetyzowania bezpieczeństwa jądrowego takich instalacji jak elektrownie jądrowe (art. 10).

chorobowo tkance; płyny podawane doustnie albo dożylnie oraz gazy diagnostyczne.

Bardzo istotną substancją, przy produkcji której udział bierze MARIA*, jest molibden 99. Jest to radioizotop

* Budowę reaktora MARIA rozpoczęto w czerwcu 1970 roku, a uruchomienie nastąpiło w grudniu 1974 roku. Jednostka nosi imię Marii Skłodowskiej-Curie. Dysponuje niewielką mocą 30 MW. MARIA nie jest pierwszym reaktorem jądrowym działającym w Polsce. Historia tych jednostek sięga jeszcze lat 50. ubiegłego wieku. Wtedy też, a dokładniej: w roku 1958, na terenie otwocznego Instytutu Badań Jądrowych uruchomiono reaktor EWA (skrót od Eksperymentalny Wodny Atomowy). Była to jednostka produkcji sowieckiej, typu WWR-S, miała moc cieplną wynoszącą 2 MW. Reaktor EWA przepracował około 3,5 tysiąca godzin. Wykorzystywano go przede wszystkim do produkcji izotopów promieniotwórczych. Wizerunek pierwszego polskiego reaktora jądrowego został umieszczony na odwrotnej stronie banknotu o nominale 20 tysięcy złotych. Z kolei w 1963 roku w otwoczym instytucie uruchomiono reaktor Anna. Miał on moc cieplną 10 kW. Został on w latach 1964-1971 włączony do finansowanego przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej międzynarodowego programu badawczego. W ramach tamtego przedsięwzięcia badano głównie zmiany strumienia neutronów w czasie. Reaktor Anna został wyłączony w latach 80. W tym samym roku w instytucie powstał zestaw podkrytyczny Helena, różniący się od reaktora nieosiąganiem masy krytycznej. Również w roku 1963 w Otwocku uruchomiono reaktor MARYLA (Mały Reaktor Laboratoryjny). Zaprojektowano go do pracy na mocy cieplnej rzędu zaledwie 250 W, choć realnie pracował na około 100 W. Z tego względu nie potrzebował czynnego odprowadzania ciepła. Jednostka ta była kilkakrotnie modernizowana. Ostatecznie wyłączono ją w połowie lat 70. W roku 1973 w instytucie uruchomiono natomiast reaktor Agata o mocy jedynie 10 W. Jednostka była pilotażowym projektem powstającego reaktora MARIA. Wyłączono ją, tak jak Annę, w latach 80. W otwoczym ośrodku miał powstać jeszcze reaktor WANDA

najczęściej wykorzystywany w medycynie nuklearnej – około 70% procedur medycznych wykonuje się z jego użyciem. Już w szpitalach rozpada się on do technetu 99m, który stosuje się w diagnostyce zmian nowotworowych w kościach, w badaniach mózgu i w diagnostyce kardiologicznej. MARIA odpowiada za około 10% światowego wytwarzania tej substancji. To czyni z polskiego reaktora prawdziwy unikat: w całej UE działają tylko cztery jednostki produkujące molibden 99. Spośród nich polska MARIA jest najmłodsza.

Świat ma zatem powody, aby żyć za pan brat z energią jądrową, a technologia ta jest wciąż rozwijana w celu implementowania jej do nowych gałęzi gospodarki. Do tego służyć mają małe reaktory jądrowe (ang. *Small Modular Reactors* – SMR) oraz mikroreaktory (*Micro Modular Reactor* – MMR). Urządzenia te to w zasadzie zminiaturyzowane wersje działających już reaktorów; od lat tego typu jednostki działają na przykład na okrętach podwodnych czy lotniskowcach. Nie da się jednak w prosty sposób przeszczepić tego typu konstrukcji na grunt cywilny – na świecie wciąż nie ma jednostki typu SMR czy MMR

(nazwa była akronimem od słów Wodny, Akademicki, Naukowy, Dydaktyczny, Aplikacyjny). Jednakże jednostka nie wyszła poza fazę prototypu. Znana jest szerzej pod nazwą UR-100.

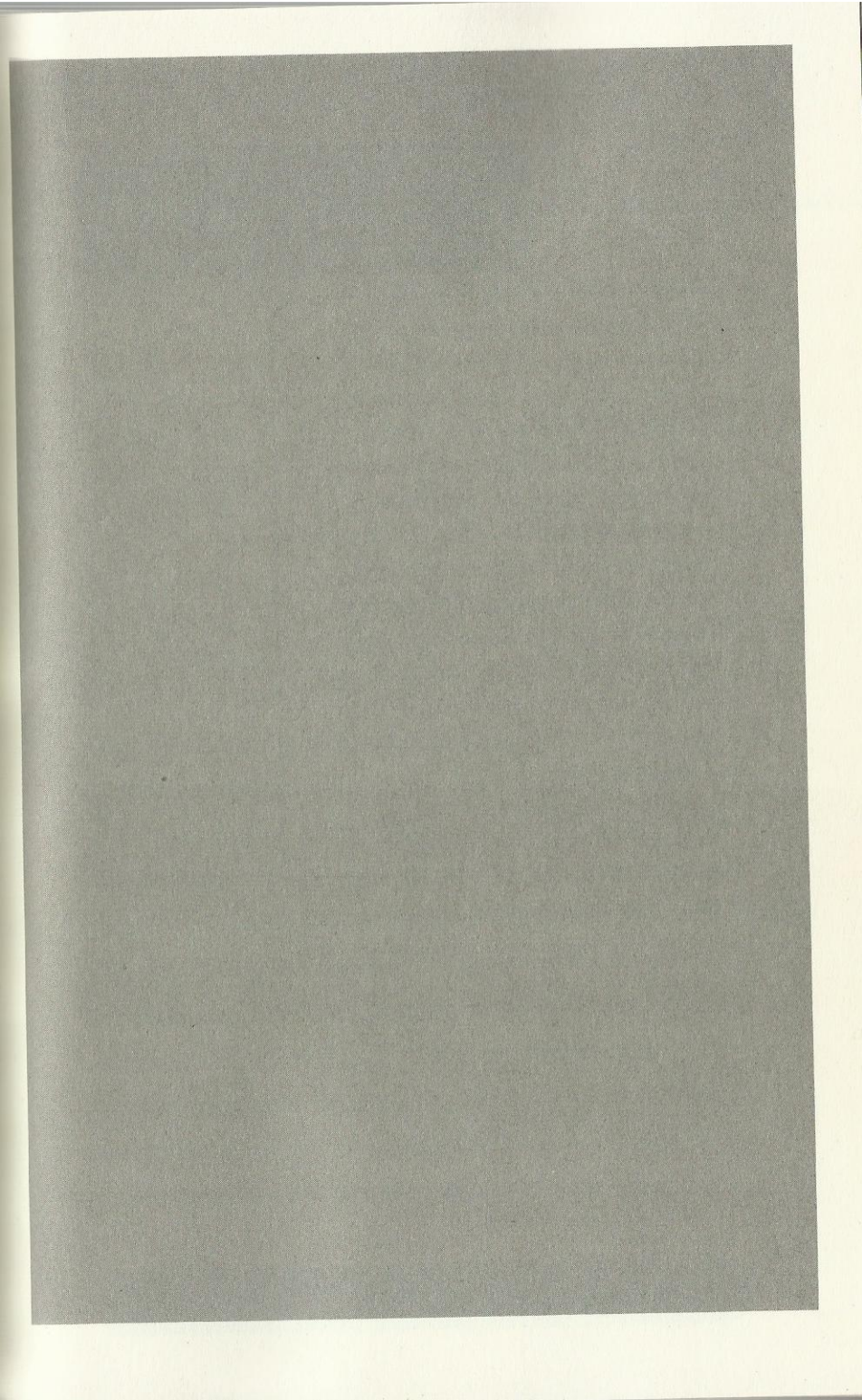
pracującej dla potrzeb innych niż wojskowe. Wynika to z kilku czynników: reaktory na okrętach marynarek wojennych są zasilane zupełnie innym paliwem (znacznie bardziej wzbogaconym), mają standardy bezpieczeństwa dostosowane do środowiska wojskowego (co jest ważne głównie w kontekście obiegu paliwa), buduje się je tak, aby okręt z napędem atomowym dysponował przez cały czas pełną mocą (co przekłada się na cechy charakterystyczne konstrukcji).

Obecnie przedsiębiorstwa takie jak GE Hitachi, NuScale czy TerraPower pracują nad stworzeniem pierwszych cywilnych SMR i MMR. Najbardziej rozwiniętymi projektami w tym zakresie mogą się pochwalić kraje Ameryki Północnej: Kanada i USA. Wszystko wskazuje na to, że w tych państwach jednostki typu SMR i MMR mogą się pojawić jeszcze przed 2030 rokiem. Ich udział w rynku energetyki cywilnej byłby dla wielu branż absolutnym przełomem. Atuty tego rodzaju rozwiązań wynikają z połączenia energii jądrowej (bezemisyjna i stabilna praca elektrowni) oraz źródeł odnawialnych (konkurencyjność ekonomiczna i możliwość szybkiej budowy). Wszystko to dzięki modułowości jednostek SMR i MMR, polegającej na przemodelowaniu cyklu produkcyjnego takich urządzeń: duża część prac konstrukcyjnych ma zostać

przeniesiona z lokalizacji docelowej do fabryki, z której reaktor wyjeżdżałby praktycznie gotowy do pracy. Skracaloby to czas potrzebny na budowę jednostki, a więc i obniżałoby koszty przedsięwzięcia. Nic zatem dziwnego, że na elektrownie typu SMR i MMR czekają z niecierpliwością potężni przedsiębiorcy, którzy upatrują w tym szans na dekarbonizację wciąż bardzo emisyjnych sektorów gospodarki, takich jak przemysł metalurgiczny czy chemiczny, tudzież ciepłownictwo.

Do kolejnego przełomu - w odległej przyszłości - może doprowadzić oswojenie fuzji jądrowej. To reakcja, która zachodzi między innymi na Słońcu, odwrotna do procesów zachodzących w używanych obecnie reaktorach. Fuzja jądrowa polega na łączeniu ze sobą małych i lekkich jąder atomowych i uzyskiwaniu w ten sposób olbrzymich ilości energii, znacznie większych niż w reakcji rozszczepiania jąder atomów. Choć prace nad fuzją trwają od lat 50. XX wieku (i zaowocowały na przykład stworzeniem bomby termojądrowej), to jednak przeprowadzenie tej reakcji na szeroką skalę, na potrzeby komercyjnej, w sposób kontrolowalny i z dodatnim bilansem energetycznym pozostaje póki co nieosiągalne - problemem jest stworzenie odpowiednich warunków.

Atom pojawia się w snach człowieka o energetycznej potędze. Wiele z nich do dziś pcha przedstawicieli ludzkości poza granice poznanego świata. Energia jądrowa może napędzać kolejne wspaniałe przedsięwzięcia. Trzeba tylko podchodzić do niej racjonalnie, bez zbędnych emocji, a już zwłaszcza: strachu. Wszakże – jak mawiała Maria Skłodowska-Curie – świata nie należy się bać, należy go rozumieć. To samo tyczy się energii jądrowej.



Słyszymy, że cena ropy spada, a cena paliwa na stacjach wcale nie. Dlaczego tak się dzieje?

Wyobraź sobie, że masz piekarnię. Kluczowa jest dla ciebie cena mąki. W prostym świecie - im droższa mąka, tym droższy chleb. Ale świat nie jest taki prosty. Cena chleba może wzrosnąć, bo wzrosną ceny energii potrzebnej do pieczenia, albo właściciel lokalu, w którym mieści się piekarnia, podniesie czynsz. Podobnie jest z paliwem. Nie tankujemy przecież samej ropy, a produkt powstały z jej przetworzenia. Cenę paliw podnoszą w ostatnim czasie między innymi gwałtownie zwiększony popyt, problemy w dostawach gazu - co sprawiło, że w przemyśle bardziej opłacało się używać oleju napędowego niż gazu, oraz koszty frachtu, czyli przewozu ropy drogą morską. Swoje robi też słaba złotówka.



ROPA NAFTOWA

„Maszyn chór znów pragnie, by
Czarną krwią napoić je”.

Hunter, T.E.L.I.

Ropa naftowa to surowiec wręcz kultowy. W XX wieku został on wciągnięty w tryby kultury, a z czasem i kultury popularnej, która uczyniła z niego symbol. O ekonomicznym znaczeniu ropy pisał Julian Tuwim w wierszu *Do prostego człowieka*, tłumacząc działania wielkich tego świata tym, „że im gdzieś nafta z ziemi sikła i obrodziła dolarami”. W filmowej serii *Mad Max* ropa naftowa to coś w rodzaju pamiątki po wielkości cywilizacji człowieka; daje możliwość napędzania ostatnich maszyn przypominających, jak niegdyś żyli ludzie, dlatego będąc dobrem niezwykle pożądanym, jest warta prowadzenia

wojen i ponoszenia ofiar. Z kolei twórcy filmu *Aż poleje się krew* ukazali ropę jako potężną siłę wzbudzającą w ludziach najgorsze instynkty, chciwość, zazdrość i podłość. Ropa naftowa i jej znaczenie polityczno-ekonomiczne stały się nawet tematem piosenki *Gasoline* Sheryl Crow. Cały ten dorobek kulturowy z ropą naftową w tle wynika stąd, że to właśnie ona stała się światowym surowcem energetycznym numer jeden w dobie najdalej posuniętej globalizacji. Ale od początku.

Ropa naftowa powstała w wyniku przekształcenia materii organicznej w odpowiedniej temperaturze i przy odpowiednim ciśnieniu. Pierwszy warunek zakłada tak zwane okno ropne, czyli odpowiedni zakres temperatury wahający się w granicach 150–600 stopni Celsjusza. W zależności od miejsca występowania ropa może mieć zróżnicowany skład chemiczny (to podstawa kwalifikacji typów ropy). W zależności od zawartości siarki ropę dzieli się na słodką (o zasiarczeniu mniejszym niż 0,5%) lub kwaśną (o zasiarczeniu większym niż 0,5%). Surowiec ten ma też różne nazwy handlowe, które pozwalają określić z jakiego regionu pochodzi dana partia, oraz przypisać jej odpowiednie właściwości chemiczne. W tym zakresie wyróżnia się ropę Brent wydobywaną na Morzu Północnym, ropę REBCO (Russian Export Blend Crude /

Ural) wydobywaną na Syberii, ropę WTI (West Texas Intermediate), którą wydobywa się w amerykańskich stanach Teksas i Oklahoma, oraz ropę OPEC, która jest *de facto* koszykiem wielu różnych gatunków sprzedawanych przez państwa należące do organizacji OPEC (więcej na ten temat piszę w dalszych częściach tego rozdziału).

Pierwsze przekazy dotyczące wykorzystania ropy przez człowieka pochodzą jeszcze z czasów starożytnych. Surowiec bardzo często występuje w złożach łączonych ze złożami gazu ziemnego. Według greckiego historyka Herodota do budowy murów Babilonu (miasta założonego około 2200 lat przed Chrystusem) użyto naturalnego asfaltu, czyli materiału, który występuje w pobliżu pól naftowych*. W rozdziale trzecim starotestamentowej Księgi Daniela można przeczytać o „rozpalaniu pieca naftą”**. Z kolei samą ropę, zagospodarowując

* Warto w tym kontekście podkreślić, że słowo „petroleum” używane w języku angielskim na określenie ropy naftowej zostało ukute w średniowieczu i wywodzi się ze zbitki dwóch greckich słów: *pétra* (πέτρα, skała) oraz *élaion* (έλαιον, olej). Można to zatem tłumaczyć jako „skała oleista”. Ciekawą etymologię ma także słowo „nafta” czy wywodzące się od niego określenie „naftowa”: jego źródłem jest greckie *naphtha* (νάφθα, coś mokrego). Podobne określenia występują także w języku akadyjskim, hebrajskim i syryjskim, co zrodziło przypuszczenie, że słowo to ma jeszcze starszy rodowód, sięgający kultury indoirañskiej.

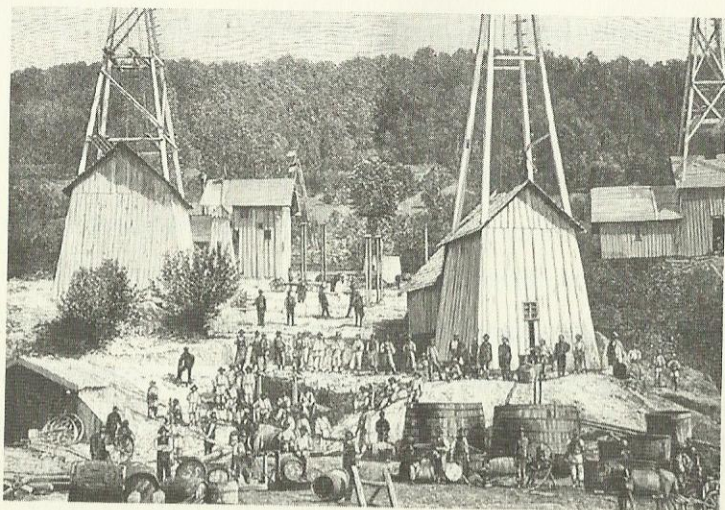
** Dn 3, 46.

naturalne wycieki, jako pierwsi zaczęli wydobywać Chińczycy - i to już w I wieku po Chrystusie, przy czym około IV wieku dysponowali prymitywnymi szymbami naftowymi o głębokości nawet 200 metrów. Do ich budowy używano bambusa. Dzięki połączonym tyczkom bambusowym, wytrzymałym i pustym w środku, ropa wydobywała się na powierzchnię. Pierwsze systemy ropociągowe były zatem bambusowe. Wydobyta ropa służyła Chińczykom głównie jako paliwo do lamp.

Przez kolejne stulecia coraz to nowe cywilizacje odkrywały ropę, ale jej wykorzystanie było śladowe. Badania nad różnymi sposobami użycia ropy naftowej prowadzili głównie arabscy i perscy chemicy, żyjący na terenie dzisiejszego Azerbejdżanu, Iraku oraz Iranu. Korzystali za pomocą prostych metod z bogatych złóż tego surowca na Bliskim Wschodzie. Poza wspomnianymi już celami oświetleniowymi ropy używano do celów wojskowych (jako składnika mieszanek zapalających stosowanych na przykład przy oblężeniach, a także do konstrukcji pocisków zapalanych, które można nazwać protogranatami - były to puszki wypełnione ropą, które podpalano i w ten sposób doprowadzano do ich eksplozji). Ropa naftowa była również obiektem zainteresowania średniowiecznych alchemików, którzy jednak nie

wytworzyli z niej niczego, co byłoby warte większej uwagi. Moment chwały dla ropy naftowej nadszedł późno, bo dopiero w XIX wieku – i stało się to za sprawą Polaków.

W 1840 roku polski chemik Filip Neriusz Walter jako pierwszy opisał i udokumentował proces wydestylowania z ropy naftowej tak zwanej nafty, zwanej też kerozyną. Jak się potem okazało, ta łatwopalna substancja doskonale nadawała się do zasilania lamp, ale dotychczasowa konstrukcja owych urządzeń znacznie to utrudniała. Rozpowszechnienie tego zastosowania nafty stało się możliwe dopiero dekadę później, dzięki polskiemu farmaceucie Ignacemu Łukasiewiczowi, który pracując w lwowskiej aptece na początku lat 50. XIX wieku, eksperymentował z różnymi produktami destylacji ropy naftowej. W 1853 roku Łukasiewicz – starając się wykorzystać praktycznie otrzymaną w procesie destylacji naftę – skonstruował lampę naftową. Wynalazek ten zrobił zawrotną karierę, a jego autor stał się pionierem przemysłu naftowego. Zbudowane przez Łukasiewicza lampy oświetlały nie tylko wnętrza (przy ich świetle jeszcze w tym samym roku przeprowadzono nocną operację w jednym z lwowskich szpitali), ale także i ulice (pierwszą uliczną lampę naftową zapalono w 1854 roku w Gorlicach). Napędzony sukcesem swojego wynalazku Łukasiewicz, chcąc wykorzystać



Pierwsze szyby naftowe w Galicji.

również inne produkty destylacji ropy naftowej, zaangażował się w tworzenie przemysłu naftowego. W 1854 roku w Bóbrce koło Krosna otworzył pierwszy na świecie zakład wydobywczy (wcześniej surowiec pozyskiwano z naturalnych wycieków), z niemal 60 szymbami wydobywczymi oraz rowami pozwalającymi kanalizować wycieki ropy. Od tamtego momentu historia przemysłowego wykorzystania ropy naftowej zaczęła dynamicznie przyspieszać. W 1856 roku w Ploiești (dzisiejsza Rumunia) uruchomiono pierwszą rafinerię*; Europa Środkowa stała się wtedy światowym centrum produkcji tego surowca.

Na przełomie lat 50. i 60. XIX wieku opracowano wydajniejsze metody wydobywania ropy naftowej za pomocą szybów głębinowych. Wówczas to światowe centrum produkcji tego surowca zaczęło przenosić się do Ameryki Północnej. Jak grzyby po deszczu zaczęły wyrastać spółki,

* Rafineria jest obiektem kluczowym dla przetwarzania ropy naftowej na inne produkty naftowe, takie jak paliwa (na przykład benzyna, oleje napędowe, paliwo lotnicze). W procesie rafinacji dochodzi do rozdzielania złożonych związków chemicznych zawartych w ropie, co umożliwia produkcję różnorodnych produktów naftowych. Podstawowym procesem zachodzącym w rafinerii jest destylacja, która opiera się na różnicy temperatur wrzenia poszczególnych składników ropy. W tym procesie „surowa” ropa jest podgrzewana w kolumnie rektyfikacyjnej, a następnie oziębianą w różnych wysokościach tej kolumny. W rezultacie ropa ulega frakcjonowaniu, czyli podziałowi na różne frakcje.

które zajmowały się wydobyciem i przetwórstwem ropy naftowej. Niektóre z nich stały się prawdziwymi potęgami o imponujących budżetach i przemożnych wpływach gospodarczych, w tym finansowych. W 1863 roku John D. Rockefeller zawiązał w USA spółkę naftową, która z czasem wyewoluowała w firmę Standard Oil, a ta szybko zdominowała rynek, wyszła poza granice kraju i stała się pierwszym międzynarodowym gigantem naftowym, przynosząc swojemu założycielowi ogromne bogactwo. Na początku XX wieku Standard Oil kontrolowała około 90% amerykańskiego przetwórstwa ropy, posiadała też potężne aktywa w Chinach i na Bliskim Wschodzie. Spółkę rozwiązano w 1911 roku na podstawie orzeczenia amerykańskiego Sądu Najwyższego, opartego na nowym prawie ochrony konkurencji (jedna ze spółek powstałych po rozwiązaniu Standard Oil dała początek kolejnemu gigantowi – firmie Exxon; piszę o niej nieco więcej w dalszej części tego rozdziału). Równolegle w 1907 roku spółki Royal Dutch Petroleum Company oraz Shell Transport and Trading Company Ltd. połączyły się, tworząc holendersko-brytyjską Royal Dutch Shell Group. Z kolei w 1909 roku powstała Anglo-Persian Oil Company, brytyjska spółka, która zajęła się eksploatacją irańskich złóż ropy. W latach 50. firma ta przekształciła się w British Petroleum (aktualnie po prostu BP).

Gwałtowny rozwój firm naftowych wynikał ze wzrostu znaczenia ropy oraz jej produktów w światowej gospodarce. Surowiec ten zaczął wypierać z niej węgiel – wszystko dzięki wynalazkowi silnika spalinowego. Prawdopodobnie pierwszym konstruktorem pojazdu z silnikiem spalinowym był niemiecki wynalazca żydowskiego pochodzenia Siegfried Marcus, który w 1864 roku zbudował pojazd napędzany benzyną. Jednak w tej kwestii trudno ustalić wiele podstawowych faktów, gdyż Marcus – z racji pochodzenia – został wymazany z encyklopedii oraz archiwów na mocy rozkazu niemieckiego Ministerstwa Propagandy z 1940 roku. Wiadomo natomiast, że w roku 1876 niemiecki wynalazca Nikolaus Otto skonstruował pierwszy nowoczesny silnik spalinowy. Urządzenie to przetwarzało energię chemiczną paliwa na energię mechaniczną. Zbudowany przez Otta silnik był czterosurowy – znaczy to tyle, że cykl jego pracy składał się z czterech suwów tłoków w cylindrach. Pierwszym etapem był pobór mieszanki paliwa i powietrza zasysanej do cylindra. Na drugim etapie dochodziło do sprężania tej mieszanki przez tłok, co prowadziło do wzrostu ciśnienia i temperatury. Na trzecim etapie następował zapłon paliwa, który przesuwał tłok. Ostatnim, czwartym etapem było usunięcie spalin z cylindra. Potem cykl rozpoczynał

się na nowo. Silnik Otta jako paliwo wykorzystywał tak zwany gaz świetlny, czyli opartą na metanie substancję, którą można było pozyskać także z węgla. W roku 1877 niemiecki inżynier Carl Benz rozpoczął pracę nad pierwszym silnikiem benzynowym, który następnie przez lata udoskonalał. W 1880 roku Benz założył spółkę produkującą silniki jego konstrukcji, a w roku 1886 skonstruował pojazd, który uchodzi za pierwszy samochód w historii ludzkości – był to trójkołowy Benz Patent-Motorwagen Nummer 1. Doświadczenie zdobyte przy budowie tego pojazdu umożliwiło mu uruchomienie seryjnej produkcji aut i zapisanie się na kartach historii motoryzacji jako jej pionier. W 1892 roku Rudolf Diesel skonstruował silnik, który miał zapłon samoczynny i nie potrzebował iskry do zapłonu mieszanki paliwowej. Paliwo zapalało się ze względu na wysoką temperaturę powietrza, które było sprężane w cylindrze podczas ruchu tłoka.

Silniki spalinowe znalazły też zastosowanie w rodzaj-
cym się lotnictwie. Pierwszy samolot w historii – Flyer I
zbudowany w 1903 roku przez braci Wright – był wyposa-
żony w silnik benzynowy. Przechodzenie świata na ropę
naftową oraz jej produkty przyspieszyły... przygotowa-
nia do I wojny światowej. Konflikt ten był pierwszym
w historii, w czasie którego ropa naftowa odegrała ważną

rolę w prowadzeniu działań zbrojnych. Wszystko zaczęło się od marynarki wojennej. Na przełomie XIX i XX wieku Wielka Brytania, uchodząca wtedy za światowego hegemonia między innymi dzięki potężnej flocie, zaczęła rywalizować z Niemcami, które - chcąc rozciągnąć swoje wpływy poza Europę - rozpoczęły tworzenie silnej marynarki wojennej. Zwłaszcza tak zwane konflikty marokańskie ujawniły niemieckie ambicje w zakresie wyparcia wpływów Wielkiej Brytanii i Francji z Afryki przy pomocy sojuszników muzułmańskich. Podstawowym paliwem dla okrętów był wtedy węgiel, jednak to rozwiązanie nie było wolne od wad. Po pierwsze, jednostki nim napędzane emitowały słup czarnego dymu widoczny z bardzo daleka, co ułatwiało ich lokalizowanie. Po drugie, ładowanie węgla na statek i dozowanie go do kotłów było czasochłonne i dość trudne. O zastępowanie węgla ropą naftową zabiegał od początku XX stulecia Pierwszy Lord Morski oraz dowódca Royal Navy John Fisher. Wszedł on w skład powołanej do życia z inicjatywy Pierwszego Lorda Admiralicji Winstona Churchilla specjalnej komisji (Royal Commission on Fuel and Engines), która zajęła się palącą kwestią paliw dla floty brytyjskiej. Efektem prac owej komisji była głęboka modernizacja brytyjskiej marynarki. Wszystkie okręty budowane po 1912 roku miały być zasilane ropą

i jej produktami. Rząd Jego Królewskiej Mości stał się też większościowym udziałowcem Anglo-Persian Oil Company i zabezpieczył 30-letnim kontraktem dostawy ropy na potrzeby Royal Navy.

Dostępność coraz wydajniejszych silników spalinyowych umożliwiła też budowę czołgów, które w niebagatelny sposób wpłynęły na przebieg wojen, począwszy od I wojny światowej. Pierwszy raz pojazdów tych użyli Brytyjczycy w 1916 roku.

O ile węgiel był surowcem, który najszybciej zmienił przemysł, o tyle ropa oraz jej produkty przyczyniły się głównie do transformacji transportu. Rozwój fabryk i ich możliwości w połączeniu z wynalazkami inżynierów motoryzacyjnych sprawiły, że już na początku XX wieku w USA rozpoczęła się seryjna produkcja samochodów osobowych. W 1901 roku z taśm montażowych zjechał oldsmobile curved dash. Natomiast symbolem tego procesu stał się ford model T, z dzisiejszej perspektywy prawdziwa legenda motoryzacji. Samochód ten produkowano w latach 1908-1927 i w owym czasie sprzedano około 15 milionów egzemplarzy tego modelu. Kluczem do jego sukcesu okazała się przede wszystkim niska cena - na zakup takiego auta mógł sobie pozwolić nawet robotnik. Z kolei prosta konstrukcja zapewniała szybką produkcję

oraz łatwość usuwania awarii. Silnik modelu T mógł być zasilony benzyną, naftą, a nawet etanolem. Dzięki temu oraz innym pojazdom ludzie otrzymali powszechnie dostępne narzędzie szybkiego, wygodnego i dalekosiężnego transportu. Na początku XIX wieku przemieszczanie się człowieka było ograniczone możliwościami piechura, który idąc z prędkością 5 km/h, mógł pokonać dziennie około 50 kilometrów. Osoby dysponujące końmi w trakcie jednego dnia mogły przejechać około 150 kilometrów. Tymczasem człowiek żyjący na początku wieku XX, który posiadał forda model T, mógł przejechać po jednym tankowaniu około 250 kilometrów, a jego samochód był w stanie osiągnąć prędkość prawie 70 km/h. Była to prawdziwa rewolucja mobilności, która zresztą trwa do dziś.

Wszystkie te wynalazki wzmacniały przemysł naftowy, dzięki czemu produkcja ropy naftowej i jej przetworów ulegała zwiększeniu. W 1869 roku w USA wydobywano rocznie 4,2 miliona baryłek tego surowca, w roku 1906 już 126 milionów baryłek, a w 1914 roku - 266 milionów baryłek. Rozrastała się też infrastruktura przemysłu naftowego: powstawały kolejne zakłady wydobywcze, rafinerie, a także na przykład magazyny paliwowe i stacje tankowania pojazdów. Ropa stawała się surowcem numer 1 światowej gospodarki. Miało to jednak swoją cenę.

Ropa naftowa to surowiec kluczowy dla funkcjonowania gospodarki, dla realizowania codziennych potrzeb oraz dla prowadzenia wojny. Skutki niedoboru ropy dość dobrze pokazała historia II wojny światowej*.

* Warto w tym miejscu nadmienić, że w XX wieku wojna stała się przedsięwzięciem niezwykle kosztownym energetycznie. Wyczerpującą analizę tego zjawiska przedstawił Vaclav Smil, naukowiec, specjalista w dziedzinie środowiska i energetyki, w swoim artykule z 2004 roku *War and Energy*. Jak zauważał, największym energetycznym problemem wojen toczonych w epoce przednowoczesnej było zaspokojenie ich potrzeb w zakresie żywienia i opału. Tymczasem współczesne wojny cechują się nieporównywalnie większym ciężarem energetycznym. Mogą nawet – przez pewien czas – być dominującym konsumentem w zużyciu energii poszczególnych państw zaangażowanych w konflikt zbrojny. Smil podkreślał, że potężne potrzeby energetyczne współczesnych wojen rozpoczynają się już na poziomie przygotowania broni. Można tu wskazać chociażby proces produkcji specjalnej stali (potrzebnej przykładowo do opancerzenia czołgów), który wymaga 40–50 MJ/kg; dla aluminium wartości te wynoszą 170–250 MJ/kg, tytanu – 450 MJ/kg, a włókien kompozytowych 100–150 MJ/kg. Wszystkie te surowce wykorzystuje się na przykład w wojskowych samolotach i raketach. Zużycie energii na te cele warto zestawić ze skalą produkcji, jaka jest niezbędna w trakcie prowadzenia wojny. Smil zilustrował rozmiary owego zapotrzebowania przykładami historycznymi. W sierpniu 1914 roku Wielka Brytania dysponowała jedynie 154 samolotami, tymczasem 4 lata później, a więc pod koniec I wojny światowej, z taśm brytyjskich fabryk zjeżdżało rocznie 30 tysięcy latających maszyn – wskazuje badacz. W 1940 roku amerykański przemysł wyprodukował dla US Army zaledwie 514 samolotów, ale przystąpienie USA do wojny przeciwko państwom Osi spowodowało, że łączne dostawy samolotów w Ameryce w latach 1941–1945 wyniosły 250 tysięcy sztuk. Nic zatem dziwnego, że w latach 1939–1944 amerykańskie zużycie paliw i elektryczności wzrosło o 46%. Już wyprodukowane pojazdy wojskowe potrzebują energii – muszą

Konflikt ten cechował się między innymi największym w historii wykorzystaniem sprzętu wojskowego takiego jak czołgi, samoloty czy okręty. Wszystkie te maszyny potrzebowały paliwa, a ono z kolei potrzebowało infrastruktury wydobywczej, rafineryjnej i logistycznej. Tymczasem rozciągnięcie działań wojennych na cztery kontynenty i przedłużanie łańcuchów dostaw często

korzystać z paliwa, które wprawia je w ruch. Smil wyliczył, że amerykański czołg M1 Abrams napędzany silnikiem o mocy 1,1 MW (1500 koni mechanicznych) pożera (w zależności od sposobu wykorzystania, terenu, pogody itp.) 400–800 litrów paliwa na 100 kilometrów, czyli kilkadziesiąt razy więcej niż współczesne samochody osobowe. Żeby przebyć dystans 1500 kilometrów, samolot MiG-29 potrzebuje około 4000 litrów paliwa. Warto ponownie podkreślić zmieniającą się skalę wykorzystania sprzętu w konfliktach zbrojnych, przekładającą się na potrzeby energetyczne. Największy manewr zagonu czołgów z I wojny światowej polegał na ataku około 600 maszyn. Tymczasem już około 30 lat później, w kwietniu 1945 roku, do Berlina dotarło 8000 sowieckich czołgów, wspieranych przez 11 tysięcy samolotów. Według wyliczeń Smila I wojna światowa odpowiadała za około 15% zużycia energii w USA (taka część wygenerowanej energii została skonsumowana na cele związane z konfliktem), II wojna światowa – za około 40%, a wojna w Wietnamie (1964–1972) – za około 4%. Są to wskaźniki uśrednione, wahające się w zależności od natężenia działań zbrojnych w poszczególnych latach. Z kolei około 5% energii zużytej przez USA i ZSRS w latach 1950–1990 zostało przeznaczone wyłącznie na rozwój, magazynowanie oraz transport broni jądrowej. Przegrana wojna również pozostawia ślad energetyczny. Japońskie zużycie energii pierwotnej w 1940 roku sięgało równowartości 63 Mtoe (milionów ton oleju ekwiwalentnego). W 1945 roku, po kapitulacji, było o połowę mniejsze, w roku 1946 uległo redukcji o kolejne 10%. Powróciło do poziomu z roku 1940 dopiero w 1955.

redukowały możliwości zaopatrzeniowe. Coraz głębszy deficyt paliwowy III Rzesza odczuwała szczególnie po 1941 roku. Jeszcze na długo przed rozpoczęciem II wojny światowej niemieccy stratedzy zdawali sobie sprawę, że jakikolwiek większy konflikt będzie dla ich kraju olbrzymim obciążeniem energetycznym, zwłaszcza jeśli chodzi o konsumpcję ropy, jak również innych paliw. Niemcy praktycznie nie posiadały złóż tego surowca w obrębie swoich granic sprzed 1939 roku. Podczas przygotowań do agresji hitlerowcy zorientowali się, że taka sytuacja była zagrożeniem na przykład dla planów Blitzkriegu, czyli wojny błyskawicznej, opartej na atakach wchodzących głęboko na terytorium przeciwnika między innymi za pomocą sił pancernych i powietrznych. Dlatego już od połowy lat 30. w III Rzeszy rozwijał się dynamicznie przemysł paliw syntetycznych. Dzięki opisanym przez Franza Fischera i Hansa Tropscha zestawom reakcji chemicznych produkowano benzynę lub olej napędowy z surowców takich jak węgiel brunatny, którego Niemcy miały pod dostatkiem. Zajmowały się tym niemieckie koncerny, jak Brabag (Braunkohle Benzin AG). Jednocześnie naziści myśleli także o zabezpieczeniu istniejących złóż ropy. Po wybuchu wojny ich oczkiem w głowie stała się Rumunia; po napaści na ZSRS

Hitler skierował swoją ofensywę na Kaukaz, gdzie znajdowały się złoża naftowe. W celu ich zagospodarowania powołano spółkę Kontinentale Öl AG. Lecz porażki w wojnie z Rosjanami sprawiły, że Niemcy nie byli w stanie zaspokajać swoich potrzeb w zakresie ropy i paliwa. Sytuacja pogorszyła się, gdy lotnictwo alianckie zaczęło atakować zakłady produkujące paliwa syntetyczne. Pod koniec 1944 roku kontynuacja wojny przez III Rzeszę stała pod znakiem zapytania – właśnie ze względu na niedostatek paliwa. Paradoksalnie, w sukurs Hitlerowi przyszły alianckie kłopoty z energetyką. Rozpoczęta lądowaniem w Normandii ofensywa w Europie Zachodniej okazała się bowiem bardzo kosztowna energetycznie. W ciągu dnia zużycie paliw przez alianckie wojska działające we Francji sięgało nawet 4 milionów litrów, tymczasem możliwości logistyczne sprzymierzonych były w tym względzie bardzo ograniczone z uwagi na niedostatek infrastruktury portowej (w rękach aliantów był jedynie port w Cherbourgu) oraz zniszczoną francuską sieć kolejową (która była bombardowana w celu zablokowania ruchów wojsk niemieckich). Do transportu zaopatrzenia wykorzystywano zatem samochody. Żeby sprostać zadaniu, dowództwo powołało do życia potężną, bo liczącą około 6000 ciężarówek i łazików Red Ball Express. Jednakże pojazdy te

również potrzebowwały paliwa. Problemu z zaopatrzeniem nie rozwiązała także operacja Pluto polegająca na budowie podwodnych rurociągów paliwowych przecinających kanał La Manche. Wszystko to sprawiło, że w październiku 1944 roku ofensywa aliantów spowolniła; potem z kolei nastąpiło niemieckie kontruderzenie w Ardenach. Dzięki temu III Rzesza zyskała nieco czasu, a II wojna światowa w Europie skończyła się ostatecznie dopiero w maju 1945 roku. Niemniej jednak był czas, kiedy mogła się zakończyć wcześniej – z racji głębokiego deficytu energetycznego po stronie Niemiec.

Lata 1939–1945 pokazały, że złoża surowców naturalnych i dostawy energii mają coraz większe znaczenie polityczne i że nie da się już prowadzić działań zbrojnych bez potężnego zaplecza energetycznego. II wojna światowa stanowiła w tym względzie sygnał ostrzegawczy. To właśnie ropa naftowa miała być tym surowcem, na przykładzie którego boleśnie się przekonano, jak delikatną konstrukcją są zależności importowe wykreowane przez dostawców surowców energetycznych. Jednak dopiero lata 70. XX wieku obnażyły w pełni tę prawdę.

Po 1945 roku świat zaczął się odbudowywać, korzystając w dużej mierze z ropy naftowej, stosując ją w transporcie (do produkcji paliw), w przemyśle (do wytwarzania

tworzyw sztucznych) oraz w sektorze energetycznym i ciepłowniczym (jako paliwo dla elektrowni i elektrociepłowni, a nawet dla przydomowych źródeł ciepła). W tym samym czasie środek ciężkości naftowego świata zaczął się przesuwać na obszar Bliskiego Wschodu, gdzie odkrywano kolejne pokłady tego surowca i korzystano z niskich kosztów jego wydobycia. W 1960 roku w Bagdadzie pięć państw (Iran, Irak, Kuwejt, Arabia Saudyjska oraz Wenezuela) powołało do życia OPEC (ang. Organization of the Petroleum Exporting Countries)*, czyli organizację zrzeszającą eksporterów ropy naftowej, będącą jednocześnie przeciwwagą dla potężnych spółek naftowych, które wywodziły się głównie z krajów anglosaskich. Miejsce powstania tego podmiotu nie było przypadkowe – w OPEC kluczową siłą były państwa arabskie, konkurujące z Zachodem przede wszystkim kosztami wydobycia. Arabska ropa była na tyle tania, że opłacało się nią handlować nawet w USA, gdzie obowiązywały

* Obecnie OPEC zrzesza 13 państw (poza założycielami są to także Algieria, Angola, Gwinea Równikowa, Gabon, Libia, Nigeria, Republika Konga i Zjednoczone Emiraty Arabskie). Organizacja ta posiada również swoje rozszerzenie, czyli format OPEC+, do którego należy kolejne 10 krajów. Kartel ten jest cały czas aktywnie zaangażowany w kreowanie sytuacji na rynku ropy naftowej między innymi poprzez limity wydobycia nakładane na swoich członków.

cała na import towarów. Innymi słowy, surowiec z Bliskiego Wschodu był konkurencyjny cenowo względem ropy amerykańskiej nawet przy uwzględnieniu kosztów transportu oraz barier celnych. Taka sytuacja napędzała wydobycie ropy naftowej w świecie arabskim, spowalniała jednak rozwój własnego wydobycia państw Zachodu, co odczuły szczególnie mocno USA - w roku 1945 amerykańskie pola naftowe odpowiadały za 66% światowej produkcji ropy, a w roku 1973 już tylko za 16,5%. Niska cena ropy spowodowała też rozpowszechnienie tego surowca w gospodarce, gdzie zaczął on zastępować węgiel nawet w ogrzewaniu domów.

Tak skonstruowana sieć dostaw, oparta na niewielkiej grupie państw-dostawców, w większości wywodzących się z jednego kręgu kulturowego i współpracujących ze sobą, stała się bardzo wrażliwa na działania polityczne - przede wszystkim ze strony państw arabskich, posiadających największe udziały w światowym rynku naftowym. Kraje te współdziałały nie tylko w ramach OPEC, ale także w ramach założonej w 1968 roku OAPEC (Organization of Arab Petroleum Exporting Countries), czyli organizacji wyłącznie dla arabskich eksporterów ropy naftowej. Okazało się to brzemiennie w skutki w latach 70. ubiegłego wieku.

6 października 1973 roku, w dniu święta Jom Kipur, wojska Egiptu i Syrii niespodziewanie zaatakowały Izrael, najeżdżając znajdujące się pod kontrolą tego państwa półwysep Synaj i Wzgórza Golan. Agresorzy zostali wkrótce wsparci między innymi przez Irak, Jordanię, Libię i Maroko, z czasem również przez ZSRS, który rozpoczął dostawę broni i sprzętu. Efekt zaskoczenia spowodował, że Izrael znalazł się w defensywie. W tej sytuacji po jego stronie opowiedziały się USA, kluczowe państwo NATO. Pierwsza pomoc z USA dotarła do Izraela już w nocy 8 października, jednak była ograniczona skąpymi możliwościami logistycznymi - używano do jej transportu jedynie izraelskich linii lotniczych El Al, które dysponowały niewielką flotą samolotów. Jednakże sześć dni po arabskim ataku prezydent Richard Nixon zatwierdził operację Nickel Grass, polegającą na przerzuceniu prawie 23 tysięcy ton sprzętu wojskowego drogą lotniczą. Niedługo potem uruchomiono też pomoc finansową.

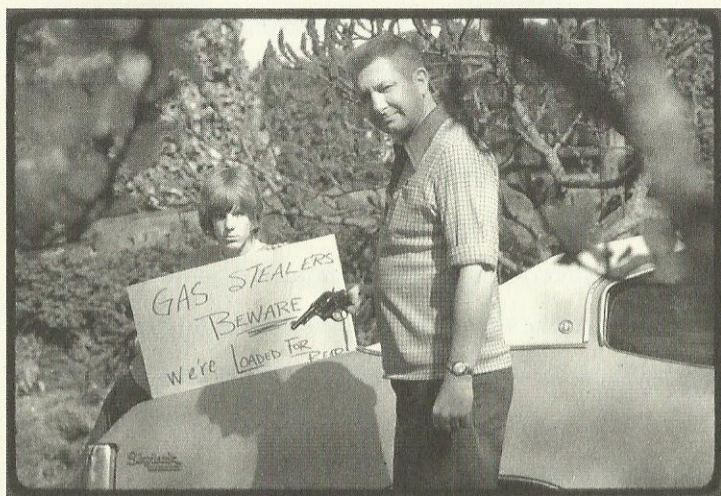
Dzięki temu - i izraelskim sukcesom bojowym na przykład na Wzgórzach Golan - szala zwycięstwa zaczęła się przechylać na korzyść Izraela. Zagraniczna pomoc nie uszła uwadze świata arabskiego. Członkowie OAPEC zmienili mechanizm ustalania cen ropy oraz wprowadzili embargo dla państw Zachodu, zmniejszając przy tym także

wydobycie surowca. Taki krok był prawdziwym ciosem dla USA, ich europejskich sojuszników oraz Japonii. Cena baryłki ropy gwałtownie się zwiększała – w ciągu paru miesięcy o kilkaset procent (z poziomu 2 do 6 dolarów, do roku 1975 miała sięgnąć prawie 10 dolarów*). Sytuacja nagle wymknęła się spod kontroli, zaburzyła funkcjonowanie gospodarek świata głęboko uzależnionych od ropy. Interesujący opis chaosu, który wywołał kryzys naftowy, przytoczył Andrzej Krajewski w swej książce *Krew cywilizacji. Biografia ropy naftowej***:

„[W Holandii] kierowcom wydzielano benzynę, zaś w niedzielę zabroniono używania prywatnych samochodów (...). Rządy Francji i Niemiec zaczęły nagle okazywać wielką sympatię światu arabskiemu. Ich głównym postulatem stało się uznanie przez Izrael praw Palestyńczyków do własnego państwa. Entuzjazm dla tej idei wzmagało zbliżanie się zimy (...). Rząd Włoch nakazał zamknięcie wszystkich stacji benzynowych w każdą sobotę i niedzielę do odwołania, natomiast w Japonii zabroniono korzystać z autostrad samochodom prywatnym (...).

* Z dzisiejszej perspektywy przywołane ceny wydają się śmiesznie niskie, jednakże w świecie ekstremalnie taniej ropy tak ogromny ich skok był miażdżący. Zaburzył podstawowe rachunki ekonomiczne i wywołał potężny kryzys gospodarczy.

** Por. A. Krajewski, *Krew cywilizacji. Biografia ropy naftowej*, Wydawnictwo Mando, Warszawa 2018.



Amerykane strzegący samochodu przez złodziejami paliwa
w czasie kryzysu w roku 1974.

W kolejnych krajach zaczęto wprowadzać ograniczenie wysokości temperatury w budynkach publicznych i mieszkaniach. Wystawy sklepowe musiały być wygaszane o godzinie 22.00. Po raz pierwszy od wybuchu wojny miasta musiały ograniczyć lub nawet zrezygnować z tradycyjnej iluminacji przed Bożym Narodzeniem. Zainicjowano również wielkie akcje propagandowe, nakłaniające ludzi do oszczędzania energii". Z kolei w USA doszło do strzelanin i ataków między kierowcami ciężarówek. Powszechnym procederem stała się kradzież paliwa.

Kryzys z 1973 roku nie był jedynym tego rodzaju tąpnięciem na światowych rynkach w tamtym okresie. Do wstrząsu pod koniec owej dekady przyczyniło się załamanie przemysłu naftowego w Iranie, którym od 1978 roku targaly niepokoje wewnętrzne. Irańczycy pracujący w tym sektorze masowo zastrajkowali, w wyniku czego znacznemu ograniczeniu uległo wydobycie ropy i produkcja paliw, a po światowych rynkach zaczął się rozlewać kryzys naftowy. Dalsza destabilizacja sytuacji w Iranie oraz obalenie szacha Mohammada Rezy Pahlawiego tylko pogorszyły sytuację, którą udało się opanować dopiero w połowie lat 80.*

* A.S. Cooper, *The Oil Kings. How the U.S., Iran, and Saudi Arabia Changed the Balance of Power in the Middle East*, Simon & Schuster, New York 2011.

Tamte kryzysy wywołały ogromną niepewność na giełdach i *de facto* zakończyły erę niezwykle taniej ropy oraz beztróskiego korzystania z tego surowca. Miały jednak większe znaczenie i długofalowy charakter. Były doświadczeniem formującym dla społeczeństw Europy Zachodniej. Nagle się przekonano, że zależność energetyczna może być wykorzystana jako broń – i to bardzo łatwo i skutecznie. Wydarzenia z lat 70. XX wieku zapoczątkowały myślenie o dywersyfikacji dostaw strategicznych surowców, warunkowanej wymogami bezpieczeństwa energetycznego. Rozwinięte gospodarki Zachodu zaczęły się troszczyć o swoją suwerenność w zakresie energii. Powstały pierwsze plany zmniejszania zależności od zewnętrznych dostawców (na przykład amerykański Project Independence, francuski plan Messmera). Do ceny surowca energetycznego wliczanej w walucie zaczęto dodawać koszt polityczny jego wykorzystania. Państwa kontrolujące największe złoża oraz kluczowe drogi przesyłu surowców energetycznych postrzegano jako potencjalnych szantażystów. Dostrzeżono także znaczenie takich miejsc na mapie jak cieśnina Ormuz, przez którą przepływała ropa wydobywana w Zatoce Perskiej. Ponadto kryzys naftowy stał się początkiem ruchów ekologicznych, wskazujących na konieczność odchodzenia

od paliw kopalnych. To właśnie na przełomie lat 70. i 80. zaczęto tworzyć podstawy dzisiejszej transformacji energetycznej*, polegającej na zastępowaniu takich surowców jak ropa naftowa rozwiązaniami w postaci energetyki wiatrowej, słonecznej czy jądrowej.

Ale globalne zaburzenia dostaw to nie jedyny aspekt kryzysu energetycznego, z jakim trzeba powiązać przymysł naftowy końca lat 70. Jak się bowiem okazało, sektor ten miał niebagatelny wpływ na rozwój kryzysu klimatycznego. Ropa naftowa – jak wszystkie inne węglowodory stosowane w energetyce – wydziela przy spalaniu dwutlenek węgla, o którym od XIX wieku wiadomo, że jest gazem cieplarnianym, wpływającym na ocieplanie się ziemskiego klimatu. Pierwsze alarmujące raporty związane z tym zjawiskiem zaczęły docierać na biurka najważniejszych decydentów w latach 60. XX wieku. Już wtedy naukowcy prognozowali, że ciągły wzrost emisji tego oraz innych gazów cieplarnianych może zdestabilizować klimat tak bardzo, iż dalszy rozwój ludzkości stanie pod znakiem zapytania. Informacje te wiązały się oczywiście z ogromnym zagrożeniem dla podmiotów, które zajmowały się praktycznie wyłącznie wydobyciem i sprzedażą

* Tamże.

paliw kopalnych. Dlatego też jedna z nich - a konkretnie: Exxon - postanowiła sprawdzić na własną rękę, jak zachowa się ziemska atmosfera pod wpływem zwiększenia emisji. Exxon pod koniec lat 70. zatrudnił klimatologów, którzy mieli zbadać, jak gazy cieplarniane wpłyną na klimat. Badacze ci w 1982 roku sporządzili model pokazujący, że zwiększenie stężenia tych substancji w atmosferze spowoduje podwyższenie średniej globalnej temperatury. Przeprowadzone badanie było bardzo dokładne, a płynące zeń przewidywania sprawdziły się w całości. Jednak model ten stał się bardzo niewygodny dla samej firmy Exxon, która postanowiła go ukryć, a potem zaczęła wspierać finansowo komentatorów, publicystów i akademików podważających publicznie dorobek nauki w kwestii teorii antropogenicznego globalnego ocieplenia.

Z firmą Exxon i ropą naftową łączy się także historia innej katastrofy, która nastąpiła pod koniec lat 80. Oto 4 marca 1989 roku tankowiec Exxon Valde rozbił się na skałach u wybrzeży Alaski, przez co z jego zbiorników wydostały się dziesiątki tysięcy metrów sześciennych ropy naftowej. Szkody środowiskowe, powstałe w wyniku tego zdarzenia, oszacowano na setki milionów dolarów. Wypadek Exxon Valdez był spowodowany nałożeniem się na siebie dwóch czynników. Jak ustalili śledczy, jednostka

nie posiadała dostatecznie licznej załogi. Marynarze pracujący na pokładzie byli przemęczeni, zmiany trwały bowiem 12-14 godzin. Niektórzy z nich pracowali jeszcze dłużej, w ramach nadgodzin. Okazało się, że Exxon za wszelką cenę dążyła do zaoszczędzenia pieniędzy, stąd niedobory kadrowe i niewłaściwe zarządzanie zasobami ludzkimi. Również cięcia budżetowe były powodem, dla którego radar statku nie działał. Od ponad roku był zepsuty, a spółka - wiedząc o awarii - uznała, że naprawa pociągnęłaby za sobą zbyt wysokie koszty. Nie trzeba dodawać, że urządzenie to mogłoby w porę wykryć mieliznę i ostrzec kierującego jednostką trzeciego oficera. Tymczasem prasa początkowo sugerowała, że głównym winowajcą katastrofy jest kapitan jednostki Joe Hazelwood, który miał być pijany podczas dowodzenia statkiem. Jednak oskarżenia te się nie potwierdziły i Hazelwood został oczyszczony z zarzutów*.

Po latach 70. do ropy naftowej przyłgnęła łątka surowca geopolitycznego. Z czasem zaczęto łączyć ten nośnik

* Katastrofa Exxon Valdez zapisała się też w popkulturze. W filmie *Wodny świat* z 1995 roku, który opowiadał o losach Ziemi po roztopieniu się lodowców, statek głównego antagonisty nazywał się właśnie Exxon Valdez. Co więcej, na jednostce znajdował się portret Josepha Hazelwooda, którego bohaterowie filmu nazywali Świętym Joem.



Kartki na paliwo przygotowane w Stanach Zjednoczonych w czasie kryzysu naftowego w latach 70., ostatecznie nie wprowadzone do obiegu.

energii z konfliktami zbrojnymi. Niektórzy komentatorzy uważają, że na przykład działania zbrojne USA podczas dwóch wojen w Zatoce Perskiej lub w Afganistanie były motywowane chęcią rozciągnięcia kontroli nad znajdującymi się tam złożami ropy. Innego zdania jest jednak przywoływany już Vaclav Smil, który twierdzi, że nie ma dowodów na to, iż dostęp do surowców energetycznych odegrał istotną rolę w wywołaniu jakiegokolwiek wojny. Według niego, wzięwszy pod uwagę genezę wojen koreańskiej, wietnamskiej, afgańskiej czy ataku USA na talibów, nie można uznać ich za wojny o energię. Podobnie w przypadku Kuwejtu, czyli I wojny w Zatoce Perskiej, autor zauważa, że gdyby chodziło tylko o ropę, interwencja amerykańska mogłaby się ograniczyć wyłącznie do zajęcia południowych pól naftowych Iraku. Smil podkreśla też, że choć niektóre afrykańskie konflikty (wojna między Nigerią i Biafrą oraz wojna domowa w Sudanie) w istotny sposób uwzględniają cel, jakim jest kontrola złóż ropy, to jednak pierwszorzędną rolę odgrywają tam spory etniczne.

Wiek XXI także nie był wolny od zawirowań na rynku ropy naftowej. Zalicza się do nich między innymi „szok naftowy” z 2011 roku. Wtedy też wybuchła tak zwana Arabska Wiosna – seria rewolucji i przemian politycznych w Egipcie, Libii, Jemenie, Bahrajnie i Syrii. Bliski

Wschód i północna Afryka to regiony, z których pochodziła 1/3 światowych dostaw ropy, dlatego niestabilna sytuacja i chaos polityczny w tym obszarze bardzo szybko przełożyły się na ceny tego surowca. Już 2 marca 2011 roku za baryłkę ropy na amerykańskiej giełdzie płacono 116 dolarów, choć miesiąc wcześniej cena oscylowała wokół 80 dolarów, a w roku 2009 wynosiła średnio 60 dolarów. Rekord cenowy przypadł na 24 lutego, kiedy cena ropy poszybowała do wysokości 120 dolarów. Na sytuację zaczęli co prawda reagować inni uczestnicy obrotu surowcem, ale mimo zapewnień ze strony takich producentów jak Arabia Saudyjska zwiększenie dostaw na rynek światowy nie obniżyło cen, które przez rok utrzymywały się na wysokim poziomie, grożąc na przykład amerykańskiej gospodarce długotrwałą recesją. Na ten kryzys nałożyły się groźby ze strony Iranu, który zapowiedział możliwość zamknięcia cieśniny Ormuz w ramach retorsji za sankcje związane z irańskim programem jądrowym. Już sama taka zapowiedź spowodowała szok na rynkach. Z kolei na początku 2012 roku Teheran zdecydował o wstrzymaniu sprzedaży ropy dla spółek brytyjskich i francuskich, co wywindowało ceny ropy nawet do 128 dolarów za baryłkę*.

* Por. A.S. Cooper, *The Oil Kings*, dz. cyt.

W odpowiedzi na tamten kryzys istotnie przebudowano światowy rynek naftowy, a przy okazji także gazu. Niepewność geopolityczna w kontekście ważnego surowcowego regionu świata, jakim jest Bliski Wschód, a także wysokie ceny ropy pchnęły gospodarkę i politykę USA do działań, które przeszły do historii jako tak zwana rewolucja łupkowa. Ich celem było pozyskiwanie wymienionych surowców z formacji łupkowych, które przed „szokiem naftowym” uchodziły za złoża nieopłacalne w eksploatacji. Jednak dzięki inwestycjom w technologię tak zwanego szczelinowania (ang. *fracking*) USA w latach 2010–2014 zmniejszyły o 20% import surowca naftowego z zagranicy i stały się poważnym graczem na rynkach ropy naftowej i gazu ziemnego, konkurując z takimi potentatami jak Arabia Saudyjska czy Rosja. Amerykanie sukcesywnie obniżali cenę wydobycia surowców u siebie, dzięki czemu pozytywne efekty ich „rewolucji łupkowej” zaczęły być odczuwalne w innych miejscach na świecie, które skupowały amerykańskie nośniki energii. Takim krajem jest między innymi Polska, która z USA importuje ropę naftową oraz skroplony gaz, określane akronimem LNG. „Szok naftowy” z 2011 roku uwolnił zatem potencjał nowego dostawcy, który przyczynił się do stabilizowania rynku – również pod względem politycznym.

Kolejne tsunami na światowych rynkach paliwowych można było zaobserwować w roku 2022, po pełnoskalowej agresji Rosji na Ukrainę. Wojna znacznie zwiększyła popyt na paliwa takie jak olej napędowy czy benzyna. Potrzebowały ich nie tylko pojazdy wojskowe, ale także cywilne, gdyż mieszkańcy uciekali z terenów, gdzie prowadzone były działania wojenne. Sytuacja ta nałożyła się na etap wychodzenia światowej gospodarki z obostrzeń pandemicznych: kolejne kraje wycofywały regulacje dotyczące na przykład transportu i przemieszczania się, co spowodowało zwiększenie liczby podróżujących. Nagle się okazało, że zapotrzebowanie na paliwa jest większe niż ich produkcja w rafineriach, zwłaszcza że ich możliwości pracy były ograniczone ze względu na spowodowany pandemią przestój w realizacji projektów inwestycyjnych w sektorze rafineryjnym. To wszystko sprawiło, że cena ropy przestała grać pierwsze skrzypce przy ustalaniu cen paliw: rynek surowca (ropy naftowej) oderwał się od rynku produktu (paliw). Doszło do znacznego podwyższenia tak zwanej marży rafineryjnej*, czyli rozdzwienku między

* Wbrew pozorom, marża rafineryjna jest marżą tylko z nazwy: nie określa ona dokładnie, ile zarabia koncern. Nie jest ona również nakładana czy ustalana przez poszczególne spółki paliwowe. Są to tak zwane nożyce cenowe. Dolną granicę marży tworzą koszty surowca oraz przerafinowania go, które są indywidualnie określane

kosztami zakupu i rafinacji ropy oraz cenami oleju napędowego czy benzyny. Czynnikiem kształtującymi sytuację były przede wszystkim gwałtownie zwiększony popyt oraz niedostatek mocy rafineryjnych. Krótko mówiąc, gwałtowny wzrost popytu na paliwa, połączony z zawirowaniami na rynku cen ropy oraz cen innych nośników energii, zbiegł się w czasie z wyczerpaniem mocy produkcyjnych przez rafinerie. Zapotrzebowanie na paliwa było bardzo duże, a ich produkcja nie mogła się zwiększyć. Dlatego właśnie ceny paliw uległy podwyższeniu – dzieje się tak z każdym towarem w gospodarce rynkowej, kiedy wzrasta na niego popyt, a jego podaż za nim nie nadąża czy pozostaje bez zmian. Jednocześnie rafinerie produkujące paliwa zaczęły zarabiać krocie – bez konieczności dokładania jakichkolwiek marży; wystarczyły same mechanizmy rynkowe. Ze względu na wspomniany dysonans między rynkiem paliw a rynkiem ropy praktycznie każda spółka naftowa dysponująca własnymi rafineriami osiągała w 2022 roku gigantyczne zyski. Warto podkreślić ponownie: nie dlatego, że nakładała dodatkowe

dla każdej rafinerii. Z kolei górną granicę określa sytuacja rynkowa, kreowana głównie przez bieżący popyt na produkty, czyli paliwa. Przestrzeń zarysowana przez te dwa wskaźniki pozwala mniej więcej oszacować, jak będą wyglądać zarobki koncernów, ale nie daje dokładnego wglądu w przychody czy zyski.

marże czy narzuty, tylko dlatego, że w taki sposób kształtował się chwilowo handel.

Eksperti szacują, że zaburzenia w branży paliwowej mogą potrwać do 2025 roku, kiedy to zwiększą się istotnie globalne moce rafineryjne. Tymczasem rządzący w różnych państwach na świecie zastanawiają się, co zrobić z nadzwyczajnymi zyskami koncernów paliwowych, które kłują w oczy szczególnie mocno w dobie kryzysu ekonomicznego i wysokiej inflacji*.

Niezależnie od postępów na drodze zrównoważonego rozwoju i w zakresie energii odnawialnej ropa naftowa pozostaje strategicznie ważnym surowcem, który odgrywa kluczową rolę w światowej gospodarce. Wciąż jest to nośnik energii odpowiadający za podtrzymywanie globalnej mobilności. To dzięki ropie i jej produktom człowiek jest w stanie w szybki, wygodny i akceptowalny ekonomicznie (choć kłopotliwy środowiskowo i klimatycznie) sposób przemieszczać się nawet z kontynentu na kontynent**. W 2022 roku świat wydobywał około 80 milionów

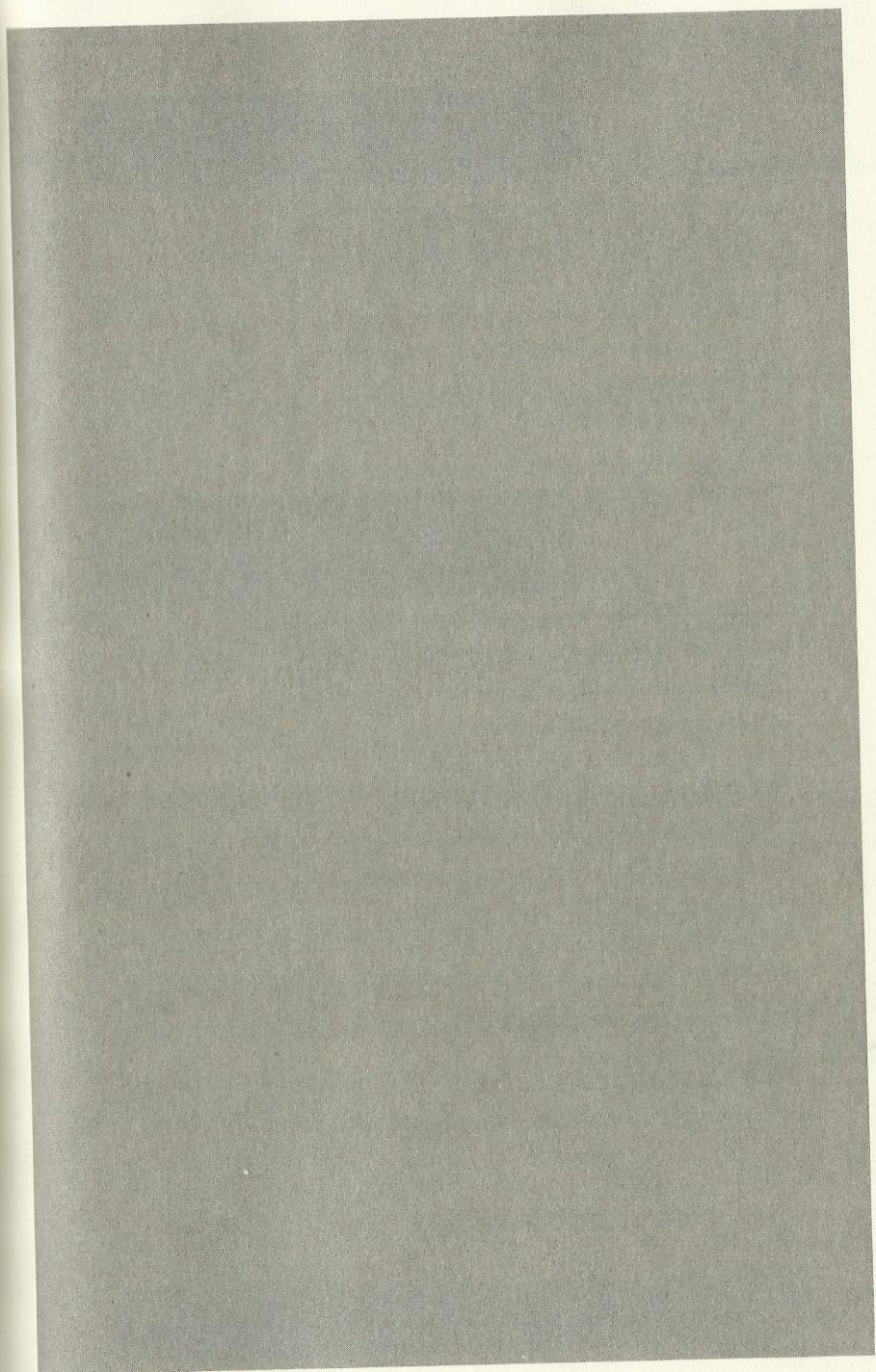
* Rozwiązaniem problemu z nadzwyczajnymi zyskami coraz częściej staje się tak zwany *windfall tax*, czyli podatek od nadzwyczajnych dochodów. Takie rozwiązania były już wprowadzane między innymi w USA po kryzysach naftowych lat 70. XX wieku.

** Problem oparcia światowego transportu na spalaniu paliw ropopochodnych jest rozwiązywany między innymi za pomocą elektryfikacji pojazdów. Już teraz samochody elektryczne


baryłek ropy dziennie – nie tylko na cele energetyczne, ale również do produkcji tworzyw sztucznych, smarów i olejów oraz chemikaliów. Wszechstronność, względna dostępność oraz wysoka gęstość energetyczna ropy naftowej sprawiają, że trudno będzie ją zastąpić w krótkim czasie. Wynika to również z gęstej infrastruktury logistycznej oraz łatwości w przechowywaniu i przewożeniu tego surowca*.

stanowią zauważalną frakcję aut poruszających się po drogach na przykład w Europie – auta zasilane bateriami (BEV) oraz hybrydy typu *plug-in* (PHEV) stanowią około 20% nowych pojazdów rejestrowanych przez Europejczyków. Nadzieją dla transportu ciężkiego mogą być z kolei napędy wodorowe, które również należą do technologii elektromobilności.

- * Ropę oraz jej paliwa z sektora transportowego próbuje się wyrugować między innymi za pomocą elektromobilności, czyli pojazdów napędzanych energią elektryczną. Choć ich możliwości oraz tabor zwiększają się z roku na rok, to jednak wciąż na światowych drogach królują pojazdy z silnikami spalinowymi.




W jakim stopniu Polska jest uzależniona od rosyjskiego gazu?



Polska od 2022 roku nie używa już gazu rosyjskiego. Było to możliwe dzięki budowie infrastruktury dywersyfikującej dostawy tego surowca – chodzi przede wszystkim o terminal LNG w Świnoujściu i gazociąg Baltic Pipe.

Dlaczego gaz jest tak ważny dla naszej gospodarki?



Gaz jest powszechnie uważany za paliwo przejściowe między gospodarką o wysokiej intensywności emisji a gospodarką bezemisyjną. Wynika to z faktu, że gaz ziemny jest o około połowę mniej emisyjny niż węgiel, a gwarantuje stabilne wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła. Polsce, która nie ma rozwiniętej sieci elektrowni wykorzystujących odnawialne źródła energii oraz nie ma atomu, gwarantuje więc on możliwość ograniczenia emisji.



GAZ ZIEMNY

*„In Europe and America there's a growing
feeling of hysteria
Conditioned to respond to all the threats
In the rhetorical speeches of the Soviets”.**

Sting, *Russians*

W ostatnich latach gaz ziemny zajął miejsce ropy naftowej jako najbardziej politycznego surowca energetycznego świata. Powodem tego stanu rzeczy był potężny kryzys gazowy, który rozlał się po światowych rynkach w wyniku agresywnych działań Rosji w Ukrainie. Powtórzył się mechanizm kryzysu z lat 70. – po raz kolejny państwo będące dysponentem surowca energetycznego wykorzystało go do osiągnięcia swoich celów politycznych. Jednak rozgrywanie gazowej karty przez Moskwę było znacznie

* W wolnym tłumaczeniu: W Europie i Ameryce rośnie histeria, napędzana odpowiedziami na sowieckie deklaracje.

bardziej wyrafinowanym procesem niż arabskie bezpośrednie embargo sprzed pół wieku. Ale od początku.

Gaz ziemny to paliwo kopalne, którego głównym składnikiem stanowi metan. Dokładny skład zależy od miejsca wydobycia. W naturalnej postaci jest bezwonny, jednak ze względu na niebezpieczeństwo, jakie stwarza jego łatwopalność, przed wtłoczeniem do sieci gazowej dodaje się do niego substancji wonnej, a konkretnie: tetrahydrotiofenu. Złóża gazu ziemnego powstały, gdy grube warstwy obumarającej materii organicznej podlegały rozkładowi w warunkach beztlenowych, wysokiego ciśnienia i odpowiedniej temperatury. Jak już wspominałem w poprzednich rozdziałach, surowiec często występuje przy złożach innych nośników energii, na przykład ropy naftowej czy węgla*. Metan może się też wydzielać naturalnie w pewnych środowiskach, jest również produktem ubocznym hodowli zwierząt. Światowa produkcja gazu ziemnego w ciągu dwóch dekad zwiększyła się o 60%, a w samym 2022 roku sięgnęła 4 bilionów metrów sześciennych. Najwięcej tego surowca wydobyto w USA, Rosji oraz Iranie.

* Jednym z problemów polskich kopalni węgla kamiennego jest to, że jego złoża są wysoko zametanowane, co znacznie zwiększa niebezpieczeństwo prac pod ziemią. Niektóre polskie spółki (jak PGNiG) prowadziły badania dotyczące możliwości pozyskania metanu z pokładów kopalnianych.

Gaz ziemny znano już w starożytności ze względu na miejsca jego naturalnego wypływu, dla których charakterystyczne były tak zwane wieczne ognie. Wydobywający się metan ulegał zapłonowi, co sprzyjało powstawaniu różnych legend i mitów o genezie tego zjawiska. Dziś wiadomo, że naturalny wypływ metanu na górze Chimera stał za powstaniem greckiego mitu o Chimerze, czyli o ziejącym ogniem potworze, o którym mowa choćby w *Iliadzie*, a który był połączeniem lwa, węża i kozy. Z gazu ziemnego korzystali Chińczycy, którzy w V-IV wieku przed Chrystusem opracowali system bambusowych gazociągów i wykorzystywali surowiec do podgrzewania wody przy warzeniu soli. Trzeba było jednak wielu stuleci, aby stosowano go powszechniej - w XVIII wieku w Wielkiej Brytanii zaczęto go używać do celów oświetleniowych. Pierwsza sieć dystrybucyjna gazu związana z oświetleniem powstała w 1836 roku w Filadelfii. W 1859 roku francuski inżynier Étienne Lenoir skonstruował protosilnik spalinowy zasilany właśnie gazem. Na przełomie XIX i XX wieku gaz przybierał na znaczeniu, a surowiec ten pozyskiwano przy okazji wydobywania ropy naftowej.

Prawdziwą siłę gaz ziemny pokazał dopiero pod koniec XX stulecia. Stał się wtedy ważnym surowcem używanym w energetyce, wpasowującym się w niektóre założenia

polityki klimatycznej. Przy ograniczeniu o około 50% emisyjności w porównaniu z węglem kamiennym gaz pozwalał generować energię elektryczną i ciepło w sposób stabilny. Dlatego uważano go za tak zwany surowiec pomostowy – miał umożliwić ewolucyjne przejście w kierunku neutralności klimatycznej. Dzięki gazowi ziemnemu światowa gospodarka miała się uwolnić od węgla kamiennego i brunatnego oraz jednocześnie zyskać czas na rozwój technologii wykorzystującej źródła odnawialne czy energetykę jądrową*. Gaz znalazł również zastosowanie w przemyśle chemicznym (na przykład w produkcji acetylenu), w tym w produkcji nawozów (jest materiałem kluczowym przy wytwarzaniu amoniaku), a także w transporcie (na przykład w formie CNG) oraz jako paliwo do domowych kuchenek czy piecyków. Jak się okazało, stał się również bronią geopolityczną.

* Z punktu widzenia ochrony klimatu, czyli nadrzędnego celu transformacji energetycznej, takie patrzenie było od zawsze kontrowersyjne. Metan to bowiem gaz cieplarniany, a jego cząsteczka ma znacznie silniejszy wpływ na podwyższanie się średniej temperatury powierzchni Ziemi w ramach efektu cieplarnianego niż cząsteczka dwutlenku węgla. Jednakże to drugi z wymienionych jest postrzegany jako kluczowy gaz cieplarniany, gdyż góruje nad metanem pod względem nagromadzenia w atmosferze. Warto jednak podkreślić, że o ile dysponujemy technicznymi możliwościami wychwytu dwutlenku węgla z powietrza (technologie CCS lub CCU, wspomniane w dalszej części książki), o tyle w przypadku emisji metanu jesteśmy w tym względzie bezradni.

O specyficznej roli gazu w światowej gospodarce oraz polityce zdecydowały w dużej mierze, jego właściwości fizyczne. Ropę czy węgiel daje się względnie łatwo transportować i przechowywać – nie trzeba do tego specjalistycznego sprzętu ani szczególnej infrastruktury (choć taka oczywiście powstaje, ale po to, aby zwiększyć efektywność logistyczną). Tymczasem gaz od momentu wydobycia jest surowcem dość problematycznym. Wymaga sieci gazociągowych lub środków transportu o odpowiedniej konstrukcji; jego wielkoskalowe składowanie może się odbywać tylko w specjalnie do tego celu zbudowanych magazynach (na przykład w kawernach solnych czy w formie skroplonej), w przeciwnym razie ulatuje bezpowrotnie do atmosfery. Takie ograniczenia sprawiają, że podmioty kontrolujące zarówno złoża, jak i sieć przesyłową mają ogromny wpływ na kształtowanie rzeczywistości gospodarczej i politycznej państw odbiorców. Krajem, który najlepiej to zrozumiał, była Rosja*.

Rosyjskie złoża gazu, położone głównie na Syberii, zaczęły być w większym stopniu eksploatowane podczas II wojny światowej, jednak prawdziwy rozrost przemysłu

* Por. E. Paszkiewicz, *Bezpieczeństwo energetyczne Unii Europejskiej w sektorze gazu ziemnego*, „Przegląd Geopolityczny” 2018, nr 23, s. 123-143.

gazowego i naftowego w ZSRS to lata 60. oraz 70. XX wieku. Zbudowano wtedy sieci połączeń surowcowych, aby oprzeć na nich gospodarkę centralnie planowaną, której wizja przyświecała przywódcom sowieckim. Stworzono potężny system zależności ekonomicznych złożony nie tylko z republik sowieckich, ale także z krajów satelickich, takich jak Polska, Niemiecka Republika Demokratyczna (NRD) czy Czechosłowacja. Do koordynowania działań na tym polu ZSRS już w 1949 roku powołał do życia Radę Wzajemnej Pomocy Gospodarczej (RWPG), a w roku 1963 Międzynarodowy Bank Współpracy Gospodarczej. W latach 70. XX wieku Sowieci zaczęli dostrzegać, że mogą skutecznie wychodzić ze swymi planami poza obszar własnej strefy wpływów. Moskwa znalazła w tym zakresie sprzymierzeńca w postaci kanclerza RFN Willy'ego Brandta. Ten polityk z ramienia socjaldemokratów był twórcą i propagatorem doktryny *Wandel durch Handel* (Zmiana przez handel). Stanowiła ona kluczowy element niemieckiej *Neue Ostpolitik* (Nowej Polityki Wschodniej). Pod względem ideologicznym doktryna *Wandel durch Handel* zakładała, że zacieśnianie wymiany handlowej RFN z krajami należącymi do RWPG (przede wszystkim z ZSRS) będzie miało pozytywny wpływ na relacje ze światem komunistycznym i pozwoli - w pewnej

perspektywie – osłabić reżim w Moskwie. Rzecz jasna, brano pod uwagę rachunek ekonomiczny w postaci perspektywy lukratywnych zysków przedsiębiorstw wchodzących na tak chłonny i gigantyczny rynek, a co za tym idzie – dalszy dynamiczny rozwój gospodarczy Niemiec. Dzięki takiemu podejściu w przypadającej na lata 70. sprzyjającej atmosferze amerykańsko-sowieckiego odprężenia RFN stała się największym w całym świecie kapitalistycznym partnerem handlowym ZSRS. Współpraca kwitła przede wszystkim w sektorze energetycznym – niemieckie spółki dostarczały Rosjanom sprzęt do realizacji projektów naftowych, a w 1973 roku rosyjski gaz popłynął do Niemiec Zachodnich.

Na tym jednak ani sowieckie, ani niemieckie ambicje się nie skończyły. Pod koniec lat 70. ZSRS i RFN zaczęły omawiać plany budowy dużego gazociągu, który miałby biec z Rosji przez Polskę, NRD aż do RFN. Projekt tego połączenia był gotowy w roku 1980, a pierwsza umowa dotycząca Gazociągu Jamalskiego, zwanego Jamalem, została zawarta między RFN a ZSRS w 1981 roku. Koncepcja ta spotkała się z gwałtownym sprzeciwem ówczesnego prezydenta USA Ronalda Reagana. Uznał on, że projekt jest wyłomem w polityce państw NATO, a Gazociąg Jamalski będzie narzędziem wpływów ZSRS

w Europie. Zależało mu też na ekonomicznym osłabieniu Sowietów, dlatego nie do przyjęcia była dla niego perspektywa zawierania przez Kreml intratnych kontraktów na dostawy gazu do Europy. Amerykański prezydent rozpoczął szeroko zakrojoną akcję dyplomatyczną w państwach europejskich. Jedną z kart negocjacyjnych był gaz ze złóż norweskich. Opcja została jednak skrytykowana i odrzucona przez państwa zachodniej Europy, zwłaszcza Francję i RFN. Szczególnie tej ostatniej zależało na budowie połączenia gazowego z syberyjskimi złożami ZSRS. Niemcy Zachodnie, będące w fazie dynamicznego wzrostu gospodarczego, potrzebowały dużych ilości niskiemisyjnego paliwa do dalszego rozwoju. Wiadomo było, że dzięki Jamałowi zostanie zaspokojone aż 35% popytu RFN na energię. Coraz bardziej napiętą sytuację zaogniło wprowadzenie stanu wojennego w Polsce. W odpowiedzi na wydarzenia grudnia 1981 roku Ronald Reagan zdecydował się na sankcje w postaci zakazu eksportu sprzętu potrzebnego Sowietom do budowy gazociągu. Nie zahamowało to rozmów między Europą Zachodnią a ZSRS. Projekt wszedł w fazę poszukiwania źródeł finansowania. Z pomocą przyszły banki ze Starego Kontynentu, które zdecydowały się kredytować całe przedsięwzięcie poprzez utworzenie konsorcjów. Pieniądze miały być

przeznaczone na zakup rur. Ponadto niektóre firmy podpisały kontrakty na dostawy gazu. Mimo coraz poważniejszych sankcji amerykańskich upór ze strony RFN doprowadził do powstania Gazociągu Jamalskiego.

Potencjału geopolitycznego Gazociągu Jamalskiego ZSRS nie zdążył wykorzystać, bo... się rozpadł (jedną z wielu przyczyn były ciężary polityczne i gospodarcze po katastrofie w Czarnobylu, co opisałem w jednym z wcześniejszych rozdziałów). Ale zanim to się stało, zrodziła się nowa idea wyznaczająca kierunek działań energetycznych rodzącej się Federacji Rosyjskiej. Pod koniec lat 80., kiedy wiadomo już było, że ZSRS chyli się ku upadkowi, dwaj dyplomaci ze stażem w sowieckich ambasadach w Niemczech: Walentin Falin i Julij Kwieciński, stworzyli doktrynę umożliwiającą zachowanie wpływów rosyjskich w Europie nawet po upadku ZSRS. Zaproponowali mianowicie, aby kontrolę sprawowaną za pomocą Armii Czerwonej zastąpić kontrolą realizowaną przy udziale surowców energetycznych, przede wszystkim gazu. Koncepcja ta jest nazywana doktryną Falina-Kwiecińskiego.

W latach 90. realizacja tej wizji nie była możliwa ze względu na słabość wewnętrzną Federacji Rosyjskiej. Jednakże kiedy do władzy w Rosji doszedł Władimir Putin, doktryna Falina-Kwiecińskiego zaczęła być

realizowana z ogromną – *nomen omen* – energią. Od początku XXI wieku Rosjanie zaczęli omawiać z Niemcami plany budowy nowego gazociągu. Miał on biec po dnie Bałtyku, bezpośrednio z Rosji do Niemiec. Kluczowe decyzje zapadły w roku 2005, kiedy to ustępujący kanclerz Gerhard Schröder* udzielił rosyjskiej spółce Gazprom** gwarancji finansowych na budowę tego połączenia,

* R. Czachor, *Polityczne uwarunkowania budowy gazociągu północnego: polityka energetyczna Federacji Rosyjskiej a solidarność europejska*, w: *Badania wschodnie. Polityka wewnętrzna i międzynarodowa*, red. Z.J. Winnicki, W. Baluk, Wydawnictwo Arboretum, Wrocław 2009

** Gazprom to podmiot o bardzo specyficznej pozycji w rosyjskiej gospodarce oraz w ogóle rosyjskim aparacie państwowym. Stanowi on potężne narzędzie wpływów politycznych Rosji – o kontrolę nad tą spółką toczyła się walka, która rozgrywała się między politykami sowieckimi a byłymi funkcjonariuszami służb specjalnych. Rywalizacja zakończyła się po dojściu do władzy Władimira Putina. Anna Kołbuk i Witold Kołbuk w swojej publikacji *Gazprom na polskim rynku paliw w latach 1989–2014* wskazują, że spółka ta mogła posiadać tak znaczną pozycję właśnie ze względu na wpasowanie się w rosyjski aparat państwowy. „Dzięki gazowemu monopolowi koncern stał się nieformalnym organem państwa, przejmując niektóre funkcje Ministerstwa Spraw Zagranicznych i Ministerstwa Obrony. Wysokość cen kupna/sprzedaży gazu, negocjacje umów o jego dostawy oraz szantaże – zawieszanie dostaw na Ukrainę i jednocześnie tranzytu do innych krajów Europy – często odzwierciedlają relację między Federacją Rosyjską a poszczególnymi krajami Europy oraz Azji Środkowej”. Wynika z tego, że Gazprom to swoiste narzędzie nieoficjalnej polityki zagranicznej Rosji, dodatkowa siła w rosyjskim instrumentarium stosunków międzynarodowych, pozwalająca jej kształtować stosunki z innymi państwami za pomocą działań na rynku gazu ziemnego.

nazywanego wstępnie Gazociągiem Północnym, a później: gazociągiem Nord Stream. Potem Schröder stanął na czele komitetu akcjonariuszy spółki odpowiedzialnej za realizację tego projektu*.

Budowa gazociągu Nord Stream została oprotestowana przez niektóre państwa UE (między innymi Polskę oraz państwa bałtyckie), a także przez Ukrainę. Kraje te widziały w tym połączeniu istotne zagrożenie geopolityczne. Z perspektywy Warszawy czy Kijowa jasne było, że budowany rosyjsko-niemiecki gazociąg nie będzie pełnił wyłącznie funkcji gospodarczych. Polacy i Ukraińcy zdawali sobie bowiem sprawę, że taki gazociąg przebuduje szlaki dostaw gazu, umożliwiając ich ukształtowanie zgodnie z interesem geopolitycznym Federacji Rosyjskiej, będącej głównym inicjatorem i realizatorem przedsięwzięcia. Rosjanie od początku prac nad Nord Stream sygnalizowali, że jego celem jest ominięcie Ukrainy, będącej dotychczas krajem tranzytowym dla rosyjskiego gazu, którą władze w Moskwie oskarżały o kradzież surowca**. Zdawano sobie także sprawę, że Kreml może w każdej chwili wykorzystać surowce energetyczne

* A. Zawisza, *Gaz dla Polski. Zarys historii sektora gazu ziemnego w ostatnich dwóch dekadach w Polsce*, Instytut Sobieskiego, Warszawa 2011.

** Tamże.

jako broń polityczną do wywierania określonej presji. Świadczyły o tym chociażby tak zwane wojny gazowe, które Rosja toczyła z Ukrainą. Konflikty te rozpoczęły się jeszcze w latach 90. XX wieku, kiedy to ze względu na problemy z terminowymi płatnościami po stronie ukraińskiej Rosja wstrzymywała dostawy. Na szczycie w 1993 roku zawarto porozumienie dotyczące umorzenia ukraińskich długów za gaz w zamian za umieszczenie rosyjskiej marynarki wojennej w bazie na Morzu Czarnym. Problem powrócił jednak po tak zwanej pomarańczowej rewolucji w Ukrainie. W 2005 roku Gazprom poinformował kontrahenta ukraińskiego, że podwyższa ceny za gaz ziemny do poziomów notowanych na rynku europejskim. W odpowiedzi Ukraina, która nie zgodziła się na nowe stawki, podniosła opłaty za przesył gazu przez swoje terytorium. Prowadzone w drugiej połowie 2005 roku negocjacje ukraińsko-rosyjskie nie doprowadziły do ugody*. W grudniu tego samego roku prezydent Federacji Rosyjskiej Władimir Putin oznajmił, że jeśli Ukraina nie zawrze porozumienia w sprawie cen gazu do 1 stycznia 2006 roku, to dostawy gazu do tego kraju zostaną

* E. Wojcieszak, *Polska, Ukraina i Białoruś wobec problemu dostaw i tranzytu rosyjskiego gazu*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Administracji, Bielsko-Biała 2013.

wstrzymane*. Groźba ta została zrealizowana; jednocześnie Rosja oskarżyła Ukrainę o kradzież gazu, do czego ta się przyznała, tłumacząc się dodatkowymi potrzebami wynikającymi z utrzymujących się niskich temperatur. Porozumienie podpisano 4 stycznia 2006 roku, jednak przez kilkadziesiąt godzin odbiorcy w Ukrainie oraz w krajach UE odnotowali zauważalną redukcję dostaw rosyjskiego gazu (w Polsce sięgnęła ona około 14%). Rosja składała podobne groźby przerwania lub ograniczenia dostaw gazu w 2007 i 2008 roku. Tego rodzaju pogroźki były związane z niedotrzymywaniem terminów opłat za gaz przez Ukrainę. Kolejny potężny kryzys nastąpił na przełomie lat 2008 i 2009, gdy Gazprom ostrzegł, że jeśli Ukraina nie ureguluje 1,67 miliarda dolarów długu za dostawy gazu, to ich realizacja zostanie wstrzymana. Ukraiński Naftohaz uregulował 1,52 miliarda dolarów płatności, lecz Rosjanie uznali, że kwota musi zostać powiększona o naliczoną grzywnę. Konflikt między stronami dotyczył również ceny za 1000 m³ gazu. Gazprom wstrzymał dostawy na Ukrainę 1 stycznia 2009 roku. Dzień później redukcję dostaw odczuli odbiorcy w UE. Impas się

* R. Czachor, *Polityczne uwarunkowania budowy gazociągu północnego: polityka energetyczna Federacji Rosyjskiej a solidarność europejska*, dz. cyt.

przedłużał. 6 stycznia pierwszy kraj UE (Słowacja) wprowadził stan wyjątkowy w gospodarce ze względu na całkowite wstrzymanie dostaw rosyjskiego gazu. Podobna sytuacja wystąpiła też między innymi w Czechach, we Francji, w Słowenii i we Włoszech. Do rozmów ukraińsko-rosyjskich włączyli się przedstawiciele Komisji Europejskiej. Kryzys udało się opanować dopiero 19 stycznia. Przebieg konfliktów gazowych między Rosją a Ukrainą unaoczniał krajom członkowskim UE, że Gazprom może nie być wiarygodnym partnerem. Wzmocniło to tendencje do dywersyfikacji dostaw gazu ziemnego. To zaś stanowiło dla Rosjan argument przemawiający za koniecznością budowy magistrali Nord Stream*.

Mimo sprzeciwu wielu państw Unii Europejskiej w 2011 roku ukończono nitkę A gazociągu Nord Stream, a w roku 2012 - nitkę B. Całość połączenia miała roczną przepustowość 55 miliardów metrów sześciennych. W ceremonii uruchomienia gazociągu wzięli udział politycy europejscy i rosyjscy, a także przedstawiciele spółek zaangażowanych w to przedsięwzięcie. Nie nasyciło to apetytów Rosjan i Niemców. Dlatego też prawie od razu po

* E. Wojcieszak, *Polska, Ukraina i Białoruś wobec problemu dostaw i tranzytu rosyjskiego gazu*, dz. cyt.

rozruchu Nord Stream rozpoczęto prace nad bliźniaczym gazociągiem, czyli Nord Stream 2.

Projekt drugiego połączenia budził jeszcze więcej kontrowersji i sprzeciwów niż koncepcja pierwszego. Stało się tak dlatego, że od 2014 roku Rosja – a więc kluczowa strona zaangażowana w to przedsięwzięcie – pod płaszczykiem wojny hybrydowej napadła na Ukrainę, oderwała jej wschodnie terytoria oraz zajęła Półwysep Krymski. Co więcej, Rosjanie w tamtym czasie popełniali kolejne zbrodnie: zestrzelili nad Ukrainą samolot pasażerski MH17, dokonali sabotażu w czeskich składach amunicji*, próbowali zabić w Wielkiej Brytanii byłego oficera wywiadu Siergieja Skripała i jego córkę Julię, zajęli ukraińskie okręty w Cieśninie Kerczeńskiej, a także usiłowali otruć opozycjonistę Aleksieja Nawalnego.

Spółeczność międzynarodowa zareagowała wprawdzie sankcjami, ale nie na tyle poważnymi, aby zatrzymać budowę Nord Stream 2. Nie pomogły ani sankcje UE, ani restrykcje ze strony USA, które jednakowoż spowolniły proces budowy. Nad gazociągiem w tamtym czasie rozłożyły parasol ochronny Niemcy, dla których rosyjski gaz otwierał nowe ogromne możliwości gospodarcze. RFN zależało

* Ta informacja została ujawniona dopiero w 2021 roku.

na pozyskaniu potężnych ilości tego surowca (magistrale Nord Stream gwarantowały roczne dostawy w wysokości maksymalnie 100 miliardów metrów sześciennych), gdyż został on wkomponowany w wizję niemieckiej transformacji energetycznej (niem. *Energiewende*).

Od roku 2000 Niemcy wdrażały *Energiewende*, czyli politykę energetyczną, która w zarysie zakładała odejście od węgla i atomu i dążenie do oparcia miksu energetycznego w całości na źródłach odnawialnych. Jednakże techniczna realizacja tego przedsięwzięcia wzmacniała niemiecką zależność od gazu – paliwa potrzebnego, aby stabilizować system wytwórczy opierany w coraz większej mierze na niestabilnych odnawialnych źródłach energii, takich jak energetyka wiatrowa czy słoneczna. Niemniej jednak Niemcy dostrzegali w tym nie problem, ale szansę na wzmacnianie swoich możliwości eksportowych. RFN sprowadzała bowiem więcej gazu, niż sama potrzebowała – przed 2019 rokiem handlowała 30 miliardami metrów sześciennych błękitnego paliwa rocznie, a jej potencjał w tym zakresie miał wzrosnąć dzięki gazociągowi Nord Stream 2. Co więcej, Berlin próbował też wymusić na swoich sąsiadach takie kierunki polityki energetycznej, by były one podatne na wzrost mocy gazowych. Dlatego też Niemcy zaangażowali potężne siły i środki do

walki z energetyką jądrową w Europie, czyli technologią, która z jednej strony pasowała do standardów ochrony klimatu, a z drugiej – zapewniała stabilną podaż energii, niezależną od warunków pogodowych.

Trzeba jednak zaznaczyć, że projekt ten miał sens biznesowy wyłącznie dla Niemców. Dla Rosjan była to inwestycja bez szansy na zysk w przewidywalnej perspektywie czasowej. Co ciekawe, potwierdzały to... rosyjskie banki. Pod koniec maja 2018 roku na jaw wyszedł raport przygotowany przez bank inwestycyjny Sberbank CIB (zależny od rosyjskiego Sberbanku), który obnażał problemy bilansowe Nord Stream 2. Dokładne wyliczenia przeprowadzone przez Sberbank pokazywały, że nawet przy założeniu, iż Nord Stream 2 będzie wypełniony w 60%, inwestycja może się zamortyzować dopiero po 20 latach. Jednakże, tak jak w przypadku pierwszego podbałtyckiego połączenia, rachunek ekonomiczny nie miał dla Rosjan większego znaczenia. Moskwa chciała przede wszystkim pozbawić Ukrainę statusu kraju tranzytowego. Miał to być dla Kijowa nie tylko cios gospodarczy, ale także poważne zagrożenie bezpieczeństwa. Jak się potem okazało, tego rodzaju obawy były słuszne.

Urzeczywistnienie wszystkich lęków związanych z gazociągami Nord Stream nastąpiło w roku 2022, z chwilą

pełnoskalowej agresji Rosji na Ukrainę. Moskwa – przygotowując napaść na to państwo – już od dłuższego czasu dążyła do takiego uzależnienia Europy od swoich dostaw gazu, aby osłabić jej ewentualną odpowiedź po wybuchu wojny. Rosyjski Gazprom od 2021 roku ograniczał podaż gazu na rynek europejski poprzez brak rezerwacji przepustowości* na gazociągach (na przykład na Gazociągu Jamalskim). Spółka opróżniała tuż przed sezonem grzewczym (w sierpniu 2021 roku) kontrolowane przez siebie podziemne magazyny gazu (czyli tak zwany PMG) w Austrii, Holandii i Niemczech (w tym największy tego typu obiekt w RFN PMG Katharina nazwany na cześć carycy Katarzyny II). Działania te wywołały szok na rynku europejskim – jesienią 2021 roku ceny na tamtejszych giełdach paliw osiągnęły rekordowe poziomy. W październiku 2021 roku na holenderskiej giełdzie TTF** padł historyczny

* Podmioty chcące przesyłać gaz przez dany rurociąg muszą zarezerwować jego przepustowość, czyli – mówiąc kolokwialnie – miejsce w rurze. Odbywa się to za pośrednictwem specjalnych platform, które obsługują operatorzy tej infrastruktury. Spółka chcąc przesyłać surowiec z jednego miejsca do drugiego musi odpowiednio wcześniej zgłosić się na takiej platformie i określić, jaki wolumen w jakim terminie chce przetransportować.

** TTF (ang. Title Transfer Facility) to wirtualna platforma z siedzibą w Amsterdamie, która jest rynkowym punktem odniesienia dla europejskiego handlu gazem. Mówiąc najprościej, jeśli ktoś chce sprawdzić, jak kształtują się ceny gazu w Europie, to obserwuje transakcje przeprowadzane na TTF.

rekord: cena 1 MWh gazu wyniosła 116,02 euro i była o prawie 900% wyższa niż rok wcześniej (13,15 euro). Komentatorzy tłumaczyli wtedy działania Gazpromu presją Rosji na otwarcie gazociągu Nord Stream 2, który został ukończony w 2021 roku i czekał na certyfikację, czyli formalnoprawny proces ustalania rygoru prawnego i warunków funkcjonowania infrastruktury.

Polityczny odcień czy raczej cień działalności Gazpromu widać też w relacjach z poszczególnymi państwami, na przykład z Mołdawią. Ten europejski kraj od 2020 roku zaczął – pod przewodnictwem nowej prezydent Mai Sandu, która pełniła wcześniej urząd premiera – prowadzić prozachodnią politykę, co wywołało sprzeciw wewnętrznej prorosyjskiej opozycji oraz negatywną reakcję Rosji dyplomatyczną i ekonomiczną. Gazprom od początku października 2021 roku ograniczył dostawy gazu do Mołdawii do poziomu około 60% tamtejszego zapotrzebowania, tłumacząc to negocjacjami z mołdawską władzą dotyczącymi nowego kontraktu. Rozmowy się przeciągały, jako że Gazprom obstawał przy drastycznych podwyżkach cen gazu. O ile poprzedni kontrakt gazowy, obowiązujący do 30 września, wyznaczał cenę za 1000 m³ na poziomie około 200 dolarów, o tyle nowe stawki dyktowane przez Rosjan sięgały już 790 dolarów. Sytuacja

wkrótce przybrała rozmiary kryzysu energetycznego. Niedobory gazu w Mołdawii były na tyle duże, że tamtejszy rząd zdecydował o wykorzystaniu tak zwanego gazu technicznego, tłoczonego do rurociągów, aby zwiększyć efektywność ich pracy. Już 13 października 2021 roku mołdawska Komisja Sytuacji Nadzwyczajnych zdecydowała o wprowadzeniu stanu zagrożenia na rynku gazu i upoważniła spółki do negocjowania z Rumunią i Ukrainą warunków importu surowca. Spór mołdawsko-rosyjski zakończył się w listopadzie 2021 roku ustaleniem nowej ceny gazu w wysokości 450 dolarów za 1000 m³.

Najpełniejszy obraz Gazpromu jako narzędzia polityki Rosji uwidocznił się już po 24 lutego 2022 roku. Wtedy też spółka – realizując dekret prezydenta Federacji Rosyjskiej z 31 marca 2022 roku – narzuciła swoim klientom pochodzącym z tak zwanych państw nieprzyjaznych (czyli między innymi z większości państw UE) nową formę rozliczeń za kontrakty gazowe, polegającą na uiszczaniu należności na specjalne konta walutowe otwierane w zarejestrowanym w Szwajcarii Gazprombanku. Płatność miała być dokonywana w dolarach (przewalutowywanych od razu na ruble), stanowić z jednej strony wsparcie dla rosyjskiej waluty, a z drugiej – swoistą odpowiedź Rosji na sankcje nałożone przez UE po ataku na Ukrainę. Spółki,

które nie zgodziły się na nową formę płatności (na przykład polskie PGNiG), traciły dostęp do rosyjskiego gazu – kontrakty z nimi były zrywane przez Gazprom, a dostawy wstrzymywane. Oznacza to, że rosyjski potentat bezprawnie ingerował jednostronnie w zawarte już umowy, realizując przy tym wolę polityczną Kremla. Warto podkreślić, że nawet zgoda na nowy mechanizm rozliczania płatności nie była dostatecznym gwarantem bezproblemowych dostaw gazu. Można tu wskazać przykład niemieckich przedsiębiorstw, które zgodziły się otworzyć specjalne konta w Gazprombanku, a i tak nie mogły odbierać surowca ze względu na zatrzymanie pracy gazociągu Nord Stream, do którego doszło w lipcu i sierpniu 2022 roku – wtedy też cena gazu na holenderskiej giełdzie TTF sięgnęła 350 euro. Strona rosyjska tłumaczyła wstrzymanie przesyłu przez gazociąg usterkami urządzeń stacji pompujących oraz brakiem turbiny gazowej, która była serwisowana w Kanadzie i nie mogła powrócić na miejsce pracy ze względu na sankcje technologiczne nałożone przez kanadyjski rząd na Rosję. Kiedy rząd Niemiec przekonał Kanadę, aby ta zrobiła wyjątek w sankcjach dla serwisowanego urządzenia, co umożliwiło transport turbiny do Niemiec, w celu przekazania jej Rosji, rosyjskie urzędy celne oświadczyły, że nie mogą odebrać maszyny, gdyż

naruszono procedury prawne, włączając w proces logistyczny spółkę, która nie była stroną umowy serwisowej. Tym samym urządzenie pozostało w Niemczech przechowywane w nieznaną publicznie lokalizacji, a przesył gazu przez gazociąg Nord Stream najpierw ograniczono do około 20% mocy, a następnie (31 sierpnia 2022 roku) wstrzymano całkowicie na kolejną przerwę technologiczną, która miała się zakończyć 2 września. Gazociąg nie podjął jednak pracy w tamtym terminie, co Gazprom uzasadniał skutkami sankcji technologicznych, uniemożliwiających naprawę poszczególnych elementów infrastruktury stacji pompującej. Następnie, jeszcze we wrześniu roku 2022, trzy z czterech nitek wchodzących w skład magistrali Nord Stream i Nord Stream 2 zostały zniszczone wskutek sabotażu*. Obecnie nie wiadomo, czy połączenia te będą się jeszcze nadawać do tłoczenia gazu. Jak widać, w geopolitycznej rywalizacji w sferze surowców energetycznych liczą się nie tylko same nośniki energii, ale także infrastruktura potrzebna do ich przesyłu.

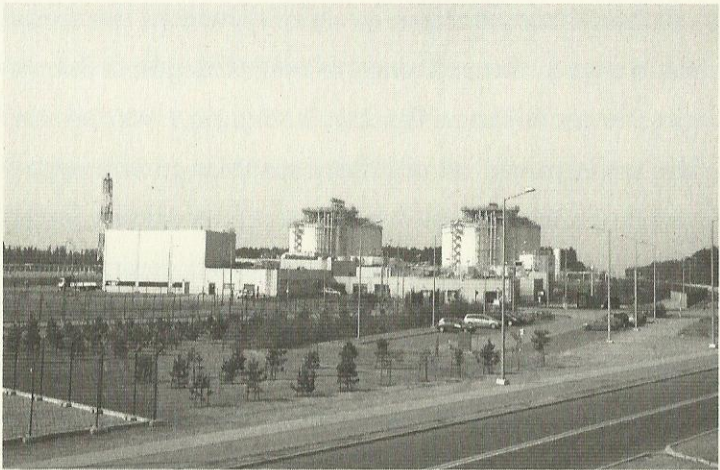
Problemy z rosyjskim gazem w Europie, których symbolami stały się gazociągi Nord Stream, spowodowały

* Nie wiadomo na razie, kto stał za atakiem na magistrale Nord Stream. Paradoksalnie, wiele wskazuje na Rosję, ale zespoły śledcze z różnych krajów świata zaangażowane w wyjaśnianie sprawy biorą pod uwagę inne scenariusze.

zwiększenie zainteresowania alternatywnymi dostawcami tego surowca. Trendy te były szczególnie dobrze widoczne na obszarze Europy Środkowej i Wschodniej, gdzie uzależnienie od dostawcy rosyjskiego w przypadku wielu państw sięgało nawet 100%. Jednakże zdywersyfikowanie portfela gazowego wymagało przetarcia nowych szlaków handlowych, co z kolei rodziło potrzebę budowy odpowiedniej infrastruktury przesyłowej i odbiorczej. Wielu krajom Europy przyszła wtedy z pomocą technologia gazu skroplonego, czyli LNG (ang. *Liquefied Natural Gas*).

Kluczową zaletą LNG jest efektywność jego transportu. Podczas procesu skraplania gaz zmniejsza swoją objętość około 600 razy. Może następnie powrócić do pierwotnej objętości w ramach tak zwanej regazyfikacji, czyli ponownej przemiany LNG w stan gazowy. Dzięki temu za pomocą specjalnego statku (metanowca) lub cysterny przewieźć można duże ilości gazu.

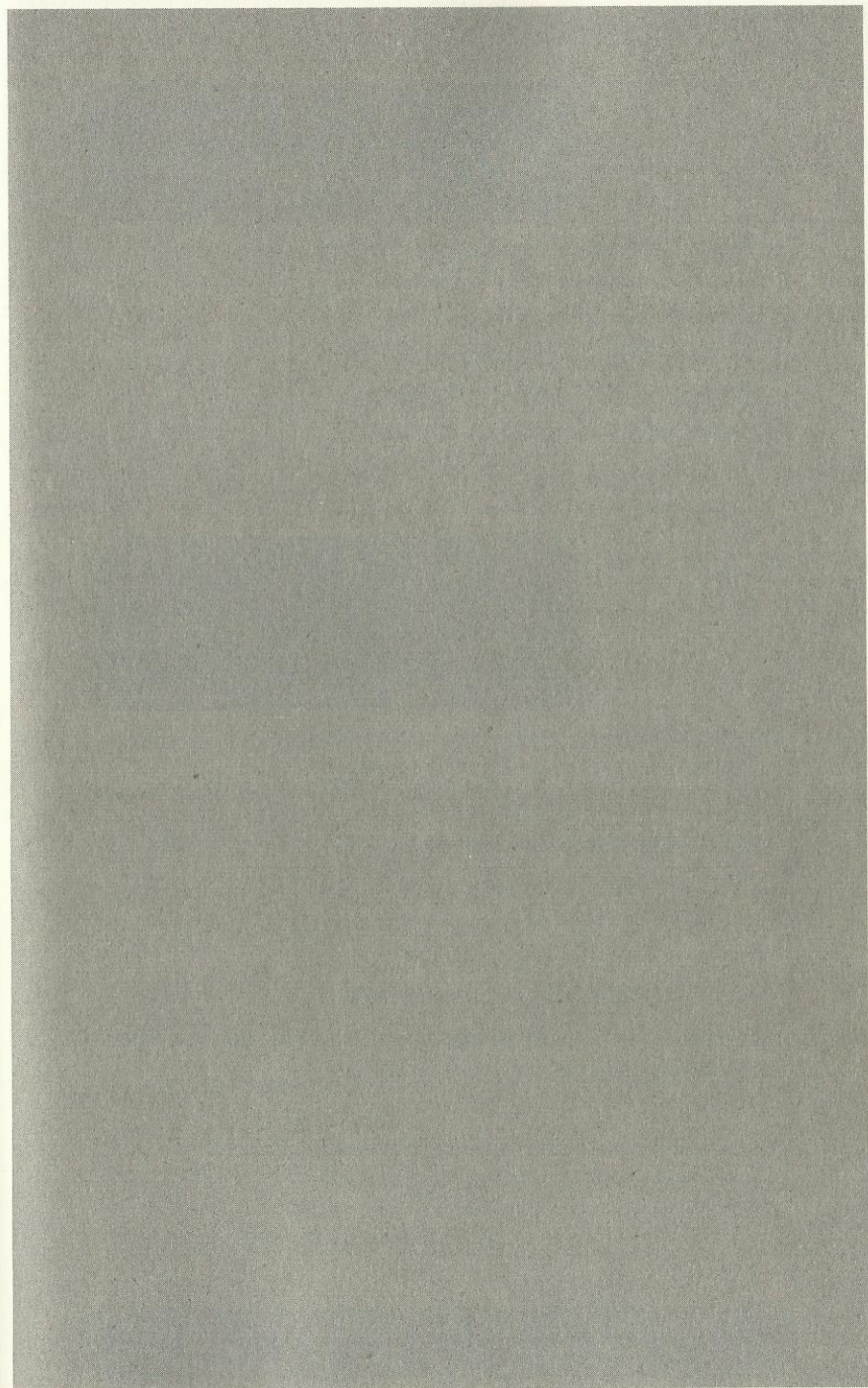
Metoda skraplania gazu ziemnego jest znana od XIX wieku. Po raz pierwszy dokonał tego polski chemik Karol Olszewski w 1886 roku. Pierwsze komercyjne zakłady skraplania gazu otwarto w USA w 1940 roku, a przemysł LNG rozwinął się na dobre w latach 70. XX wieku. W ramach procesu skraplania gaz ziemny najpierw jest




Gazoport w Świnoujściu w 2018 roku.

oczyszczany z substancji takich jak woda czy dwutlenek węgla, a następnie schładzany do temperatury około -160 stopni Celsjusza, co prowadzi do zmiany stanu skupienia w ciekły. Bardzo mocnym impulsem rozwojowym dla rynku gazu skroplonego była amerykańska rewolucja łupkowa, w wyniku której rynek zalały dodatkowe ilości surowca, a jego ceny się obniżyły, USA zaś stały się trzecim największym eksporterem LNG na świecie (w 2022 roku na pierwszym miejscu uplasowała się Australia, a na drugim - Katar), choć jeszcze w 2002 roku Ameryka nie była nawet w pierwszej dziesiątce. To właśnie między innymi z USA kraje Europy Środkowej zaczęły kontraktować dostawy gazu nierosyjskiego. Jednym z państw, które w ten sposób chciało ograniczyć swoją zależność od Rosji, była Polska - w tym celu w 2006 roku podjęto decyzję o budowie terminala LNG w Świnoujściu, który oddano do użytku w roku 2015, a już w następnym przyjął on pierwszą dostawę gazu skroplonego. O podobną infrastrukturę zadbała na przykład Litwa, która od 2014 roku korzysta z pływającego terminala LNG typu FSRU (ang. *Floating Storage Regasification Unit*). W 2022 roku - wobec zniszczenia gazociągów Nord Stream - swoje własne obiekty do odbioru LNG postawili (w rekordowym tempie) Niemcy.

Najnowsze zdarzenia z gazem ziemnym w roli głównej są swego rodzaju powtórką procesów, które skutkowały załamaniem gospodarki świata zachodniego w latach 70. XX wieku. Historia gazociągów Nord Stream uczy, że kwota, która widnieje na rachunku za gaz, nie zawsze jest jedyną ceną, jaką trzeba zapłacić za ten surowiec. Wraz z nim pompowane są bowiem istotne wpływy polityczne, które mogą być umacniane i rozszerzane bynajmniej nie z korzyścią dla jego odbiorców. Nadmierne poleganie na surowcu dostarczanym przez wąskie grono dysponentów, którzy potrafią przedłożyć interes geopolityczny nad ekonomiczny, to nic innego, jak zastawianie pułapki na samego siebie. Naiwne uleganie liberalizmowi energetycznemu, który głosił, że problemy z zaspokojeniem zapotrzebowania na poszczególne surowce mogą zostać rozwiązane tylko zgodnie z zasadami rynkowymi, oznacza narażanie się na poważne niebezpieczeństwo nie tylko w sferze gospodarczej, ale i politycznej. Wystarczyło, że jeden z graczy zaczął grać wbrew tym zasadom, by cała konstrukcja rynku światowego zatrzęsała się w posadach.




Ile trzeba wiatraków/turbin wiatrowych, żeby oświetlić albo ogrzać takie miasto, jak Warszawa? Jaki byłby tego koszt?



Zasilenie Warszawy z przyległościami przez 60 minut wymaga w ciągu dnia ok. 1,2 GWh. Żeby wygenerować taką ilość energii, potrzeba ponad 600 turbin wiatrowych pracujących przez godzinę z pełną mocą.

Dlaczego nawet niewielkie elektrownie wykorzystujące źródła odnawialne mają znaczący wpływ na zmniejszenie emisji CO₂ do atmosfery?



Czajnik elektryczny o mocy 2 kW, pracujący z taką mocą przez godzinę, zużyje 2 kWh energii elektrycznej. Jeśli będzie on pobierał energię z polskiej sieci opartej głównie na elektrowniach węglowych, to do atmosfery dostanie się w tym czasie 1,5 kg dwutlenku węgla. Tysiąc takich czajników spowoduje, że emisja potrzebna na wygenerowanie energii dla nich wyniesie 1,5 tony CO₂.



ŹRÓDŁA ODNAWIALNE

„Power! Unlimited power!”

Kanclerz Palpatine, *Gwiezdne wojny,*
cz. III: *Zemsta Sithów*

Źródła odnawialne, inaczej odnawialne źródła energii – zwane skrótowo OZE – to bardzo pojemna kategoria technologii, surowców i paliw, które łączy jeden wspólny mianownik: umożliwiają pozyskiwanie energii tak, że jej zasób „odnawia się” w sposób naturalny lub też uważany jest za niewyczerpywalny w przewidywalnej perspektywie. OZE to obecnie najprężniej rozwijająca się gałąź światowej energetyki – według danych IRENA*

* <https://www.irena.org/News/pressreleases/2023/Mar/Record-9-point-6-Percentage-Growth-in-Renewables-Achieved-Despite-Energy-Crisis> [dostęp: 13.05.2023].

tylko w 2022 roku na świecie udostępniono do użytku 295 GW nowych mocy w tych technologiach, co oznaczało wzrost o prawie 10%. Aż 83% nowych jednostek wytwórczych oddawanych w tym czasie do użytku stanowiły właśnie OZE. Całość mocy zainstalowanych w OZE sięgnęła 3372 GW. O sukcesie tych technologii zdecydowały dwa podstawowe czynniki. Po pierwsze, OZE są najważniejszym elementem światowej transformacji miksu wytwórczego. Wszystkie dostępne prognozy dotyczące globalnej energetyki w kierunku neutralności klimatycznej wskazują, że to właśnie OZE mają stanowić największy zasób technologii generacji energii. Po drugie, przez ostatnie dekady OZE były istotnie subsydiowane – tak działało się przede wszystkim w krajach Unii Europejskiej*.

* Chodzi nie tylko o bezpośrednie dopłaty do budowy źródeł odnawialnych, takie jak polski program Mój Prąd, który przewidywał dopłaty do wysokości 5000 zł na poczet instalacji elektrowni fotowoltaicznej. Kluczowe znaczenie w tym zakresie miał system *merit order* (czyli mechanizm porządkujący kolejność sprzedaży energii z poszczególnych jednostek wytwórczych) oraz system handlu emisjami ETS (dociążający finansowo produkcję energii z elektrowni o wysokiej intensywności emisji). Źródła odnawialne są w większości praktycznie bezemisyjne: fotowoltaika czy turbiny wiatrowe nie emitują gazów cieplarnianych podczas swojej pracy, dlatego też nie generują kosztów związanych z ETS. Tymczasem system *merit order* premiuje właśnie źródła o najniższych kosztach wytwarzania, dając im pierwszeństwo w dostępie do sieci nad źródłami droższymi. Jednakże cenę dla całego rynku nalicza się według najdroższej

Spowodowało to zdynamizowanie rozwoju tych rozwiązań, co z kolei wywołało efekt skali, znacznie obniżający koszty takich technologii jak fotowoltaika czy turbiny wiatrowe. W tym rozdziale przyjrzymy się najważniejszym źródłom odnawialnym współtworzącym obecny globalny miks energetyczny.

ENERGIA WIATRU

Ludzie korzystali z energii wiatrowej już od czasów starożytnych. Pierwsze zastosowania były związane z transportem. Około roku 3100 przed Chrystusem po rzece Nil zaczęły żeglować łodzie z papirusowymi żaglami. To właśnie wiatr napędzał statki, które umożliwiały ludziom najbardziej efektywną wymianę handlową oraz kulturową, a także dalekosiężne podboje.

Trudno wskazać, kiedy dokładnie człowiek zaczął wykorzystywać wiatr i jego energię do pracy innej niż

jednostki wchodzącej w danym momencie do systemu. Oznacza to, że gdy cenę dla rynku wyznacza jednostka droższa (na przykład gazowa czy węglowa), to najwięcej zarabiają operatorzy źródeł tańszych (na przykład wiatrowych), bo produkują oni energię niskim kosztem, a sprzedają ją za względnie wysoką cenę.

napędzanie statków czy okrętów. Istnieją przesłanki, aby uważać, że stało się tak jeszcze w czasach starożytnych. Świadczą o tym chociażby prace Herona z Aleksandrii, który wynalazł napędzane wiatrem (a właściwie małym wiatrakiem) organy. Jednak dobrze udokumentowane dowody w tej sprawie pochodzą dopiero z czasów średniowiecznych, a konkretnie z VII wieku. Wtedy też w Persji wynaleziono wiatraki o horyzontalnym rozstawie łopat, które służyły do napędzania żaren. W późniejszych wiekach podobne rozwiązania stosowano także w Chinach – wiatraki napędzały tam pompy nawadniające pola.

Przyspieszenie rozwoju technologii pozyskiwania energii z wiatru nastąpiło w XII stuleciu w Europie, równoległe w Anglii oraz we Francji. Budowniczości tamtych urzędzeń szybko zdali sobie sprawę, że aby wiatrak pracował efektywnie, musi się obracać – tylko wtedy będzie mógł korzystać z wiatru wiejącego z różnych kierunków. Dlatego też kluczową kwestią, jaką należało rozwiązać przy projektowaniu wiatraków, był mechanizm ich obrotu. Znalaziono na to kilka sposobów.

Pierwszym typem wiatraka stosowanego w Europie był koźlak (wiatrak koźłowy). Jego konstrukcja oparta była bowiem na tak zwanym koźle, czyli wewnętrznym

stelażu, dzięki któremu całą zewnętrzną obudowę wiatra wraz ze śmigłami można było obracać, aby dostosować jego położenie do kierunku, z którego wiał wiatr (stałym i nieruchomym elementem był właśnie tylko wewnętrzny koziół). Koźlaki budowano z drewna, były stosunkowo niewielkie, a do ich obrócenia wystarczył jeden mężczyzna (choć często wyręczano się zwierzętami pociągowymi). Było to możliwe dzięki wewnętrznemu mechanizmowi wyposażonemu w kołowrót. Wiatraków tych używano przede wszystkim do mielenia ziarna na mąkę. Jedno takie urządzenie mogło zemleć rocznie 60-90 ton ziarna (w zależności od rozmiaru oraz warunków wiatrowych).

Wadą koźlaków był względnie niewielki rozmiar wymuszany mechanizmem obrotowym. Dlatego też europejscy konstruktorzy zaczęli eksperymentować z nowymi sposobami obracania wiatraków i tak powstał paltrak, czyli znacznie masywniejszy od koźlaka wiatrak drewniany, którego konstrukcja opierała się na murowanym fundamencie wyposażonym w żeliwne rolki - to właśnie dzięki nim wiatrak był obracany. Mechanizm obrotu był znacznie solidniejszy, przez co sam wiatrak mógł być znacznie masywniejszy, dzięki czemu jego moc była większa niż w przypadku koźlaka.

Na przełomie XIV i XV wieku w Holandii* powstał kolejny typ wiatraka zwany holendrem (a także wiatrakiem wieżyczkowym). Miał on wysoką, stabilną, murowaną wieżę (co odróżniało go wyraźnie od koźlaków i paltraków) oraz ruchomą głowicę, obracaną na żeliwnych rolkach. Śmigło holendra było ulokowane pod pewnym kątem. W XVIII wieku urządzenia te wzbogacono o tylny wiatraczek, który umożliwiał samoczynne ustawianie się głowicy względem kierunku wiatru. W wiek XIX Europa weszła z parkiem około 200 tysięcy wiatraków. Od tamtego czasu ich liczba zaczęła się zmniejszać – urządzenia te zastępowano nowymi wynalazkami, czyli na przykład maszyną parową.

* W Holandii wiatraki urosły do rangi symbolu narodowego. Stało się tak oczywiście dlatego, że wykorzystywano je na masową skalę do osuszania terenów wydzieranych morzu. Jednakże powszechność tych urządzeń sprawiła, że używano ich nawet do komunikacji. Jako „język” służyło tu ułożenie śmigieł wiatraka. Kiedy utrzymywano je w pozycji „+”, był to znak, że wiatrak jest otwarty i sprawny. Kiedy zmieniano ustawienie na „x”, wysyłano sygnał, że wiatrak jest zamknięty lub doznał awarii. Z kolei ułożenie śmigieł wiatraka tak, by wskazywały godziny 11, 2, 5 i 8 z tarczy zegarowej, było komunikatem ostrzegawczym lub oznaczającym żałobę. Sygnału tego używano często podczas niemieckiej okupacji Holandii. W 2014 roku, kiedy Rosjanie zestrzelili nad Ukrainą samolot MH17 z wieloma obywatelami holenderskimi na pokładzie, wiatraki w Niderlandach ustawiono w tej pozycji na znak żałoby.

Pod koniec XIX stulecia zaczęto pracować nad generowaniem energii elektrycznej z wiatru. Pierwszą turbinę wiatrową, w której energia kinetyczna wiatru była zmieniana w generatorze na prąd elektryczny, zbudował w 1887 roku w Szkocji inżynier James Blyth. Zadaniem tej turbiny horyzontalnej było zasilanie (położonego w miejscowości Marykirk) letniego domku jej twórcy. W tym samym czasie w USA (a dokładnie w Ohio) urządzenie takie postawił wynalazca Charles Brush. Skonstruowana przez niego turbina miała 18 metrów wysokości, ważyła 4 tony i dysponowała mocą 12 kW.

W 1896 roku duńska wieś Askov była już zasilana energią płynącą z turbiny wiatrowej zbudowanej przez Poula la Coura. To właśnie Dania może uchodzić za kolebkę nowoczesnej energetyki wiatrowej – w roku 1900 działało tam już 2500 turbin o łącznej mocy około 30 MW (co daje średnią moc 12 kW na urządzenie). Używano ich głównie do produkcji elektryczności oraz do napędzania pomp wodnych. W pierwszych latach XX wieku w wielu miejscach na świecie zaczęły powstawać elektrownie wiatrowe o mocy od kilku do nawet kilkudziesięciu kilowatów. Rozwiązanie takie przyjęło się szczególnie dobrze w USA i Australii, gdzie wiatraki stanowiły źródło zasilania wyspowego dla osad

położonych z dala od sieci elektroenergetycznych oraz napędzały pompy wodne.

W połowie XX wieku zaczęły się pojawiać projekty turbin wiatrowych o mocy około 1 MW. Jednocześnie zmieniano konstrukcję urządzeń, zastępując dominujące w ich budowie drewno lżejszymi i wytrzymalszymi materiałami. Pod koniec lat 70. w Europie powstał cały przemysł wiatrowy – wtedy też takie spółki jak Vestas, Nordtrank czy Bonus rozpoczęły seryjną produkcję turbin. Instalowano już nie pojedyncze urządzenia, ale całe ich skupiska, zwane z czasem farmami wiatrowymi. W 1991 roku w odległości 2 kilometrów od wybrzeży duńskiej wyspy Lolland zbudowano pierwszą na świecie morską farmę wiatrową (tak zwaną farmę *offshore*), złożoną z 11 turbin o mocy 450 kW każda. Wejście energetyki wiatrowej na obszary morskie wynikało przede wszystkim z panujących na nich znacznie lepszych warunków wietrznych. Morskie turbiny wiatrowe mają – w porównaniu z lądowymi – istotnie wyższy współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej. Co więcej, jednostki na morzu nie budzą tak wielu sprzeciwów społecznych jak turbiny na lądzie*.

* Osoby mieszkające w pobliżu wiatraków skarżą się niekiedy na hałas, drgania lub migotanie światła oraz niekorzystny wpływ tych czynników na ich samopoczucie.

W XXI wieku energetyka wiatrowa podlegała dynamicznemu rozwojowi. Obecnie na świecie działa 906 GW mocy zainstalowanych w energetyce wiatrowej, z czego 57,6 GW to morskie turbiny wiatrowe. Tylko w roku 2022 oddano do użytku nowe turbiny o łącznej mocy 78 GW. Analitycy spodziewają się, że w ciągu następnych kilku lat na świecie otrzymamy kolejne 680 GW w tej technologii*. Tak szybki rozwój był możliwy dzięki transformacji energetycznej w kierunku neutralności klimatycznej, w której turbiny wiatrowe odgrywają bardzo istotną rolę – dysponują one w skali świata wyższym współczynnikiem wykorzystania mocy zainstalowanej niż fotowoltaika (zwłaszcza jeśli chodzi o farmy *offshore*), można je budować praktycznie wszędzie (co odróżnia je na przykład od elektrowni wodnych), a znaczna redukcja cen tych urządzeń odnotowana na globalnym rynku w ostatnich latach spowodowała, że instalacja turbin wiatrowych jest w zasięgu możliwości finansowych wielu podmiotów gospodarczych, a nawet osób prywatnych.

Współczesne turbiny wiatrowe w przeważającej większości mają formę wieży osadzonej na koncentrycznym fundamencie, na szczycie której zatknięta jest gondola.

* Źródło: <https://gwec.net/globalwindreport2023/> [dostęp: 22.04.2023].

W gondoli znajduje się generator, który zamienia ruch łopaty wirnika w energię elektryczną. Tak jak w średnio-wiecznych wiatrakach, tak i w nowoczesnych turbinach wiatrowych instalowane są systemy umożliwiające obrót gondoli i dostosowanie jej położenia do kierunku wiatru. Największe instalowane obecnie turbiny wiatrowe (przeznaczone do pracy na morzu) dysponują mocą 15 MW i mierzą prawie 300 metrów wysokości*. Dla porównania, przeciętna moc turbiny lądowej to około 2 MW. Żywotność takich urządzeń wynosi 20-25 lat. Najpopularniejszym typem turbiny wiatrowej jest model o trzech łopatach o poziomej osi obrotu. Jednakże występują też inne rodzaje tych konstrukcji, jak turbiny o pionowej osi obrotu (typ tornado, turbina Darrieusa, turbina Savoniusa).

Turbinom wiatrowym zarzuca się niekiedy, że sprawiają trudności przy recyklingu. Problemy takie rzeczywiście mogą się pojawić, ale tylko w przypadku łopat – resztę elementów, z których skonstruowana jest turbina, można

* Największą instalowaną obecnie turbiną wiatrową jest model V236-15.0MW, produkowany przez duńską firmę Vestas. Taka jednostka, umiejscowiona w regionie, w którym panują dobre warunki wietrzne, jest w stanie w ciągu roku wygenerować dostatecznie dużo energii, aby zasilić 20 tysięcy gospodarstw domowych.

bardzo łatwo poddać recyklingowi. Łopaty są natomiast zbudowane ze specjalnych kompozytów włókien szklanych lub węglowych, przez co ich obróbka jest kłopotliwa i kosztowna. Często z tego powodu zużyte łopaty są cięte i przerabiane na przykład na stoły, wiaty czy kładki, niekiedy zaś zakopywane. Niemniej przemysł zajmujący się bardziej wyrefinowaną, bo chemiczną, obróbką i recyklingiem łopat wiatraków już się rozwija. Zakłady tego rodzaju działają między innymi w Niemczech.

Istotną przeszkodą w rozwoju energetyki wiatrowej – poza zasygnalizowanymi powyżej sprzeciwami społecznymi – może być jej wpływ na bioróżnorodność. Turbiny wiatrowe to urządzenia dość niebezpieczne dla zwierząt, zwłaszcza dla ptaków, owadów, ale też i niektórych ssaków, które doznają kolizji z poruszającymi się dość szybko łopatami. Zderzenie takie jest dla nich zazwyczaj śmiertelne. Oczywiście urządzenia te nie są tak zabójcze, jak przedstawiają to ich przeciwnicy. Dla przykładu, według amerykańskiej US Fish and Wildlife Service, turbiny wiatrowe zabijają w USA rocznie 214–368 tysięcy ptaków, podczas gdy w tym samym czasie koty zabijają 1,4–3,7 miliarda ptaków. Należy jednak zauważyć, że łupem turbin padają często gatunki nieosiągalne dla kotów (jak orły), a przy tym zagrożone wyginięciem. Dla kurczącej

się populacji ubytek nawet jednego osobnika może być stratą nie do nadrobienia. Dlatego turbiny trzeba lokować niezwykle rozważnie, to jest w takich miejscach, gdzie potencjalne szkody dla bioróżnorodności nie wpłyną na istnienie gatunków zagrożonych wyginięciem. Co ważne, od dawna trwają prace dotyczące zwiększenia ochrony ptaków i innych zwierząt przed kolizjami z turbinami, na przykład badania między innymi nad odpowiednim malowaniem łopat tych urządzeń (według opracowań pomalowanie jednej łopaty na czarno znacznie redukuje śmiertelność zwierząt, lecz jak na razie naukowcy dysponują zbyt małą próbą, aby potwierdzić tę hipotezę), oświetleniem ostrzegawczym (mocniejszym niż instalowane do tej pory) oraz nad specjalnymi programami pracy turbin (między innymi nad wyłączaniem tych urządzeń na okres przelotów ptaków).

ENERGIA SŁOŃCA

W rozdziale na temat energetyki jądrowej napisałem, że na ujarzmienie reakcji fuzji ludzkość będzie musiała jeszcze trochę poczekać. To prawda, ale człowiek – a także wszystkie inne żywe istoty na Ziemi – korzystają z energii

pochodzenia fuzyjnego już teraz, choć proces jej generowania przebiega zupełnie poza ich kontrolą. Mowa tu oczywiście o energii ze Słońca, będącego niczym innym jak ogromnym reaktorem, w którym nieustannie zachodzi reakcja termojądrowa. To dzięki temu zjawisku na Ziemi mogło powstać życie - a obecnie jego najinteligentniejsze formy zamieszkujące tę planetę starają się pozyskać ze Słońca tak dużo, jak tylko mogą.

Słońce jest głównym źródłem energii w skali całej Ziemi i to dzięki niemu na naszej planecie w ogóle mogło się rozwinąć i utrzymać życie. To właśnie dochodzące ze Słońca promieniowanie, połączone z naturalnym efektem cieplarnianym*, stworzyło warunki do powstania i ewolucji organizmów żywych. Dlatego z perspektywy człowieka pozyskiwanie energii ze Słońca związane było głównie z korzystaniem ze względnie stabilnych warunków rozwojowych w ziemskim ekosystemie. Przez przeważającą część historii ludzkości bardziej wysublimowane formy czerpania energii z najbliższej gwiazdy

* Efekt cieplarniany występuje w naturze, jednakże obecnie człowiek rozregulował ten mechanizm, który można - z pewnymi zastrzeżeniami - nazwać ziemskim termostatem. Zwiększanie wpływu efektu cieplarnianego na średnią temperaturę odnotowywaną w ziemskiej atmosferze opisałem w poprzednich rozdziałach.

były nieosiągalne technicznie, choć zdarzały się od tego wyjątki. Już w starożytności eksperymentowano bowiem z możliwościami przekierowania promieniowania słonecznego w celu wsparcia określonych działań ludzi. Interesującym przykładem takich zastosowań jest – na poły legendarne – lustro Archimedes. Zostało ono użyte do obrony Syrakuz przed wojskami rzymskiego wodza Marcellusa w III wieku przed Chrystusem. Według przekazów Archimedes skonstruował lustro odbijające promienie słoneczne w formie skupionej wiązki w taki sposób, że zogniskowanie ich na drewnianych okrętach floty Marcellusa powodowało zapłon tych jednostek. Historycy powątpiewają jednak w skuteczność zastosowania lustra – przychylają się raczej do konstatacji, że służyło ono do oślepienia załóg, nie zaś do wzniesienia pożarów. Jednakże opisy tamtego rozwiązania pozwalają przypuszczać, że zjawisko skupiania promieni słonecznych w celu rozpalenia ognia było znane już w starożytności. I to właśnie taką metodę można uznać za pierwszy sposób mechanicznego wykorzystania energii Słońca przez człowieka.

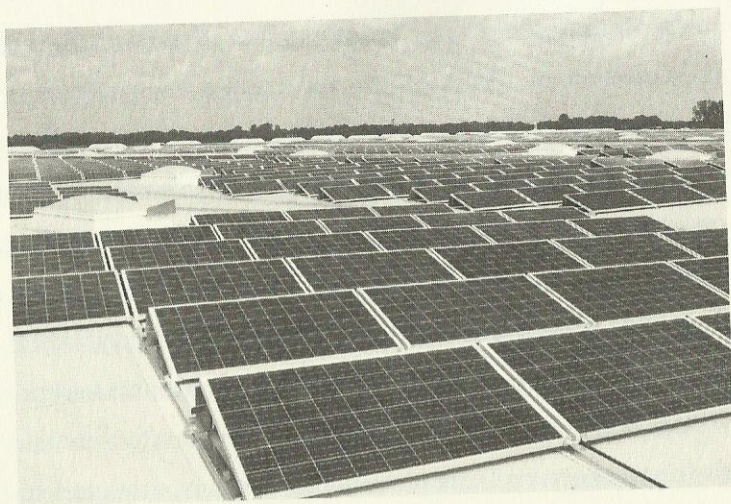
Możliwości pozyskiwania energii elektrycznej ze Słońca zwiększyły się gwałtownie w XIX wieku. Przełomem był odkryty w 1839 roku przez Edmonda Becquerela

(ojca Antoine'a Henriego Becquerela znanego z badań nad radioaktywnością) efekt fotowoltaiczny, polegający na przemianie energii świetlnej na energię elektryczną. Fizyk zauważył, że dwie platynowe płytki pokryte chlorkiem złota i bromkiem srebra po naświetleniu promieniami słonecznymi potrafią wygenerować prąd elektryczny. W ten sposób Becquerel zbudował pierwsze w historii ogniwo słoneczne, nie potrafił jednak poprawnie wytłumaczyć jego działania. Kolejny przełom nastąpił w roku 1883, kiedy to amerykański wynalazca Charles Fritts stworzył pierwszy panel fotowoltaiczny. Zainstalowano go w 1884 roku na jednym z nowojorskich dachów, zbudowany był z selenu (działającego jako półprzewodnik, co z kolei w 1873 roku ustalił Willoughby Smith, a w 1876 roku potwierdzili William Adams i Richard Day) pokrytego bardzo cienką warstwą złota. Zarówno odkrycie Becquerela, jak i wynalazek Frittsa oparte były na tym samym zjawisku: w ogniwie fotowoltaicznym, które składa się z dwóch warstw półprzewodnika, dochodzi do absorpcji fotonów ze światła słonecznego właśnie przez półprzewodniki (jak selen, a obecnie najczęściej krzem). Wchłanianie fotonów sprawia, że elektrony znajdujące się w półprzewodniku zostają wprowadzone w ruch, co tworzy prąd elektryczny.

Przez długie dekady fotowoltaika nie rozwijała się zbyt dynamicznie – wszystko ze względu na bardzo mały współczynnik wykorzystania mocy, ledwo przekraczający 1%. Dopiero w latach 50. XX wieku udało się podwyższyć ten wynik do około 5%, natomiast późniejszy rozwój paneli fotowoltaicznych koncentrował się właśnie na zwiększaniu możliwości produkcji energii elektrycznej z pojedynczego urządzenia. Niemniej jednak fotowoltaika zaczęła XXI wiek z zaledwie 1600 MW mocy zainstalowanej. Był to początek ogromnej słonecznej rewolucji.

W XXI wieku technologie słoneczne znalazły się w centrum polityki klimatycznej. Ich rozwój wspierano w Chinach, USA i w EU. Na fotowoltaikę przeznaczono setki miliardów dolarów, co sprawiło, że pod koniec 2022 roku na świecie działało już 1185 GW mocy w panelach fotowoltaicznych, z czego aż 414 w jednym kraju – w Chinach. Fotowoltaika stanowiła także aż 44% nowych mocy oddawanych w tym czasie do użytku w sektorze OZE. Wszystko wskazuje na to, że w roku 2023 światowa moc zainstalowana elektrowni fotowoltaicznych przebijie 1500 GW.

Współczesny panel fotowoltaiczny jest zbudowany z komórek z ogniwami fotowoltaicznymi grupowanymi w modułach. To w owych komórkach zachodzi proces przemiany energii słonecznej w energię elektryczną. Panel ma



Panele słoneczne zamontowane na dachu budynku.

także warstwę ochronną, która zapobiega uszkodzeniom mechanicznym wynikającym na przykład z gradobicia. Dodatkowym zabezpieczeniem jest metalowa rama, która pełni również funkcję stelaża dla całej instalacji. Kluczowym elementem w pracy urządzenia fotowoltaicznego jest falownik, który zmienia prąd stały w prąd zmienny. Rolę półprzewodnika pełni najczęściej krzem krystaliczny (c-Si). Nowoczesne panele fotowoltaiczne, instalowane w odpowiednich miejscach, są często wyposażone w tak zwane trackery, czyli urządzenia poruszające panelem, które umożliwiają instalacji podążanie za słońcem po to, aby maksymalizować uzysk energii. Żywotność paneli fotowoltaicznych szacuje się na 20–25 lat, jednakże znacznie krótsza jest żywotność falownika (10–15 lat).

Jak już wspomniałem, głównym niedostatkiem paneli fotowoltaicznych jest ich niski współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej, zależny nie tylko od pory dnia i nocy, ale także od pogody. Po zmroku panele fotowoltaiczne – z oczywistych względów – nie pracują. Jest to szczególnie uciążliwe zimą, kiedy dzień jest krótki, a noc długa. Jednakże przeszkodą dla pracy paneli fotowoltaicznych może być także zachmurzenie oraz opad (zwłaszcza śniegu). Co więcej, w systemach elektroenergetycznych, które są rozciągnięte południkowo (tj. z północy

na południe) pojawia się ryzyko zbyt szybkiego ubytku mocy generowanej z fotowoltaiki. Taka sytuacja może grozić poważnymi następstwami. Dzieje się tak na przykład w amerykańskim stanie Kalifornia. Szybkie wycożenie dużej mocy fotowoltaicznych z systemu rodzi tam często problemy z zastępowaniem ich innymi źródłami. To zaś powoduje konieczność nerwowego balansowania stabilnością sieci*. Kłopotem dla operatorów systemów dystrybucyjnych jest też bardzo szybki wzrost mocy w fotowoltaice odnotowywany w niektórych państwach**

-
- * Do krytycznej sytuacji doszło w Kalifornii 15 sierpnia roku 2020, kiedy aż 3,3 mln gospodarstw domowych zostało bez prądu z powodu splotu niekorzystnych okoliczności. Ze względu na wysokie temperatury w kalifornijskim systemie utrzymywało się duże zapotrzebowanie na moc. Tymczasem warunki atmosferyczne znacznie ograniczyły możliwość produkcji energii elektrycznej z turbin wiatrowych. Co więcej, zabrakło wtedy elektrowni gazowej o mocy 0,5 GW, która doznała awarii. Kiedy z systemu energetycznego Kalifornii zaczęły znikać szybko moce fotowoltaiczne, jego operator wprowadził tak zwane *Stage 3 Emergency*, czyli mechanizm podobny do polskich stopni zasilania. Oznaczało to sytuację w systemie elektroenergetycznym, w której zapotrzebowanie na energię znacząco przerasta podaż. Jest to najwyższy stopień zagrożenia dla sieci w Kalifornii i wiąże się z wprowadzeniem krótkich (zwykle: kilkugodzinnych) wyłączeń dostaw elektryczności dla niektórych odbiorców (czyli tak zwanych brownoutów), by zapobiec niekontrolowanym i znacznie dłuższym blackoutom.
- ** Z problemem takim zmagają się na przykład Polska, gdzie w 2023 roku operator systemu elektroenergetycznego musiał odłączyć od sieci część instalacji fotowoltaicznych, aby nie zaburzyć funkcjonowania całości systemu.

oraz częste przewymiarowanie instalacji. Wszystko to sprawia, że póki co technologia ta jawi się jako dopełnienie miksu opartego na innych jednostkach niż jako główne rozwiązanie systemowe.

Częstym zarzutem, jaki stawia się panelom słonecznym, jest trudność w ich recyklingu. Nie jest to jednak trafione oskarżenie. Zdecydowaną większość masy panelu fotowoltaicznego (około 70%) stanowi bowiem szkło, które łatwo można wykorzystać ponownie. Problem dotyczy jedynie krzemu, ale wynika to nie tyle z braku możliwości technologicznych, ile z kosztów procesu recyklingu. Natomiast można mieć nadzieję, że zwiększona podaż paneli przeznaczonych do rozbiórki na materiały ponownego zastosowania (co jest logiczną konsekwencją gwałtownych przyrostów mocy zainstalowanych w tej technologii) sprawi, iż zadziała efekt skali - i recykling krzemu stanie się znacznie tańszy niż obecnie.

Panele fotowoltaiczne działają nie tylko na Ziemi. Sprawdzają się one w zasilaniu takich obiektów jak pojazdy kosmiczne: sondy, łaziki czy stacje. Instalację fotowoltaiczną posiadał pierwszy amerykański sztuczny satelita Vanguard 1. Z energii słonecznej korzystał też łazik Opportunity, który został wysłany przez NASA na powierzchnię Marsa. Jego ostatnia wiadomość wysłana

na Ziemię brzmiała: *My battery is low and it's getting dark* (ang. Moja bateria się wyczerpuje, a robi się ciemno). W roku 2021 na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej działały panele fotowoltaiczne o mocy 250 kW. Według specjalistów to właśnie panele słoneczne mają być podstawą zasilania przyszłych baz na przykład na Marsie. Dużą nadzieją dla dalszego rozwoju fotowoltaiki są także tak zwane perowskity, czyli grupa minerałów, które umożliwiają budowę znacznie cieńszych, lżejszych i bardziej elastycznych ogniw fotowoltaicznych. Pionierką badań nad technologiami w tym zakresie jest polska fizyczka Olga Malinkiewicz.

Energię ze Słońca pozwalają czerpać także kolektory słoneczne, które są urządzeniami ciepłowniczymi – służą do ogrzewania wody użytkowej. Spinając klamrą ten podrozdział, warto wspomnieć o nowym modelu wykorzystywania energii słonecznej, to znaczy o wieżach słonecznych, które łączą w sobie cechy kolektorów (służą do podgrzewania wody) i paneli (generują energię elektryczną). Jednostki te zbudowane są z koncentrycznie ułożonych zwierciadeł (co przywodzi na myśl lustro Archimedes), które odbijają światło słoneczne i w ten sposób pozwalają ogrzewać stojącą w środku tej instalacji wieżę, służącą do podwyższania temperatury

wody, która następnie może być używana na przykład do generowania energii elektrycznej. Kompleksy wież słonecznych lokuje się zazwyczaj na pustyniach, ich moc waha się od kilkudziesięciu do nawet kilkuset megawatów.

ENERGIA WODY I ENERGIA GEOTERMALNA

Wykorzystanie energii wody ma długą historię sięgającą starożytności. Już wtedy zastanawiano się, jak można spożytkować na przykład przepływ wody w rzekach, strumieniach czy wodospadach. Starożytni znali też energię źródeł geotermalnych, którymi zasilano głównie łaźnie, jednak znacznie łatwiej było użyć jej jako mechanicznego źródła napędu dla poszczególnych urządzeń.

Pierwszy udokumentowany projekt w tym zakresie powstał w III wieku przed Chrystusem. Jego autorem był grecki wynalazca Filon z Bizancjum, który uchodzi również za budowniczego pierwszej katapuły. Opracował sposób, w jaki energię pływów wodnych można przetworzyć na energię mechaniczną. Wpadł na pomysł budowy koła wodnego, na które składały się rozłożone

równomiernie czerpaki. W kolejnych wiekach koło wodne* (już bez przypominających łyżki czerpaków, ale za to z łopatami) znalazło zastosowanie przede wszystkim w młynach wodnych, czyli obiektach, które potrzebowały energii ruchu wody do napędzania żaren mielących zboże na mąkę. Pierwsze potwierdzone relacje dokumentujące działanie młynów wodnych pochodzą jeszcze z I wieku przed Chrystusem. Dokładny opis urządzenia zawdzięczamy między innymi rzymskiemu inżynierowi Witruwiuszowi. To właśnie Rzymianie znacznie rozwinęli technologię przetwarzania energii wody – ich dziełem jest na przykład największy kompleks mechaniczny starożytnego świata zasilany pływami wodnymi. Usytuowano go w Barbegal na terenie dzisiejszej Francji. W jego skład wchodziło 16 kół wodnych, które obracała woda doprowadzana wzniesionymi specjalnie w tym celu akweduktami. Zbudowano go na stromym wzgórzu, co gwarantowało odpowiedni przepływ wody. Kompleks w Barbegal

* Warto poznać pewną klasyfikację kół wodnych. Podstawowe rozgraniczeniem jest poziom, z którego doprowadza się do nich wodę. Urządzenia te dzielą się na podsiębierne (zasilane wodą przepływającą pod spodem koła), śródsiębierne (do których woda trafia na poziomie połowy wysokości koła) oraz nadsiębierne (które napędza woda spływająca z góry). Najbardziej wydajne są koła nadsiębierne, a najmniej – koła podsiębierne. Inny podział wynika z ułożenia koła: wyróżnia się koła o usytuowaniu horyzontalnym (poziomym) i wertykalnym (pionowym).

produkował dziennie 4-4,5 ton mąki, które wystarczały do żywienia 8-10 tysięcy osób. To również Rzymianie byli twórcami napędzanego wodą tartaku - działał on w Hierapolis na terenie dzisiejszej Turcji w II połowie III wieku po Chrystusie. Funkcjonowanie tartaku opierało się na sprzężeniu koła wodnego z dwiema piłami, które poruszały się dzięki mechanizmowi korbowemu. Na podobnej zasadzie działał wodny młot kowalski, który także skonstruowali rzymscy inżynierowie.

W wiekach średnich koła wodne upowszechniały się w coraz to nowych regionach oraz w kolejnych sektorach gospodarki, stając się kluczowym mechanizmem zasilającym światową gospodarkę. W samej tylko Anglii w XI wieku (według przekazów pisanych) działało około 5600 młynów wodnych wyposażonych w co najmniej jedno koło, a w ciągu następnych 300 lat ta liczba się potroiła. Z rzeczonych urządzeń korzystał nie tylko przemysł drzewny, metalurgiczny czy spożywczy, ale także tekstylny, papierniczy i budowlany. Stosowano je również do napędzania pomp właczających wodę do fontann i wodociągów.

Przez kolejne stulecia inżynierowie skupiali się przede wszystkim na ulepszaniu konstrukcji koła wodnego poprzez dodawanie metalowych elementów, które

wydłużały jego żywotność. W I połowie XIX wieku w samej Europie działało około 500 tysięcy tego typu urządzeń, a już w II połowie ludzkość osiągnęła istotny postęp w zakresie pozyskiwania energii dzięki wodzie. Chodzi oczywiście o budowę hydroelektrowni, które pozwalały generować energię elektryczną. Funkcjonowały na bardzo prostej zasadzie: woda kierowana była na turbinę, która - obracając się - napędzała prądnicę produkującą energię elektryczną. Pierwsza taka jednostka została uruchomiona w 1878 roku w Cragside w Anglii i zasilala tylko jedną lampę łukową. Z kolei w Godalming w angielskim Surrey w 1881 roku otworzono pierwszą publiczną elektrownię na świecie, która była elektrownią wodną, wyprzedzając nieznacznie rozruch londyńskiej jednostki Edisona. Duży wkład w rozwój hydroenergetyki wniosły USA, gdzie elektrownie wodne zaczęły powstawać w latach 80. XIX wieku. Do końca stulecia w USA pracowało już prawie 300 takich obiektów. Warto podkreślić, że pierwszy system elektroenergetyczny zbudowany w 1881 roku w Anglii opierał się na pracy dwóch kół wodnych, które zasilaly około 40 lamp.

Początkowo elektrownie wodne wkomponowywano w naturalny bieg rzek lub strumieni. Przekładało się to na względnie niewielką moc hydroelektrowni. Jednakże od

początku XX wieku projektowano już sztuczne spiętrzenia, które umożliwiały postawienie znacznie większych elektrowni. W tym celu budowano specjalne zapory wyposażone w jednostki generacyjne, przez które przepływała woda ze sztucznie stworzonego zbiornika. Dzięki temu udało się połączyć wytwarzanie energii elektrycznej z innymi działaniami, takimi jak ochrona przeciwpowodziowa czy doprowadzanie wody do określonych obszarów, sztuczny zbiornik zapory elektrowni wodnej, wyposażony w mechanizmy kontroli upustu wody, mógł bowiem odgrywać rolę regulującą. Przykładem takiej jednostki może być Zapora Hoovera na rzece Kolorado między amerykańskimi stanami Nevada i Arizona. Po ukończeniu prac (1936 rok) była ona największą na świecie elektrownią tego rodzaju, dysponującą mocą zainstalowaną 2 GW*. Wysoka na 221 metrów i długa na 379 metrów zapora utworzyła sztuczne jezioro Mead, największy taki rezerwar wody w USA, który jest wykorzystywany także do celów rolniczych (irryguje około 400 tysięcy hektarów upraw).

* Ilość energii elektrycznej generowanej dzięki Zaporze Hoovera zaczęła się gwałtownie zmniejszać od 2000 roku ze względu na utrzymującą się suszę, która znacznie obniżyła poziom wody w jeziorze Mead. W roku 2021 odnotowano rekordowo niski poziom zapełnienia tego zbiornika; wiązało się to z wpływem zmian klimatu na sytuację hydrologiczną USA.

Należy zaznaczyć, że choć elektrownie wodne uważa się za źródło OZE, to jednak trudno uznać je za obiekty o niskim wpływie na środowisko. Jednostki takie wymagają znacznej ingerencji w ekosystem ze względu na konieczność wzniesienia sztucznych zbiorników wodnych, zaburzenie naturalnego biegu rzek i stworzenie przeszkód, które są trudne do pokonania na przykład dla ryb. Przykładowo, budowa Zapory Hoovera wymusiła chwilowe przekierowanie rzeki Kolorado na zupełnie nowy bieg, a następnie zmieniła warunki życia żyjących w niej zwierząt, co zagroziło wyginięciem kilku gatunków ryb (jak *Gila cypha* i *Gila elegans*).

Warto też zwrócić uwagę na jeszcze jedno niebezpieczeństwo, jakie wiąże się z użytkowaniem hydroelektrowni – w razie (celowego lub przypadkowego) uszkodzenia tego typu obiektów istnieje ogromne ryzyko potężnej katastrofy. Niestety, ludzkość już kilkakrotnie doświadczyła tego typu zdarzeń. Jako przykład można podać historię Dnieprzańskiej Elektrowni Wodnej zwanej Dnieprostrojem. Jednostka ta została zbudowana na terenie ZSRS w 1932 roku. Powstała w ramach planu GOELRO, czyli Państwowego Planu Elektryfikacji Rosji. Zapora elektrowni była wysoka na 60 metrów i długa na 760 metrów. Zainstalowana w niej elektrownia miała moc rzędu 560 MW.

Kiedy w 1941 roku ZSRS został zaatakowany przez III Rzeszę, Dnieprostroj nabrał szczególnego znaczenia strategicznego: zapora stanowiła ważny korytarz komunikacyjny umożliwiający przeprawę przez Dniepr, czyli naturalną przeszkodę dla nacierających na wschód Niemców. Rosjanie – przerażeni kolejnymi sukcesami wojsk hitlerowskich – zaczęli tworzyć plany wysadzenia elektrowni. Taki ruch miał z jednej strony uszkodzić przeprawę przez rzekę, a z drugiej – spowodować falę powodziową, która opóźni niemiecką ofensywę. Upoważnienie do zniszczenia zapory dał sam Józef Stalin, a nastąpiło to 18 sierpnia 1941 roku*. Rozerwanie zapory wywołało falę powodziową, która zabiła około 1500 Niemców i około 100 tysięcy cywilów zamieszkujących brzegi Dniepru oraz wyspy położone na tej rzece. Wysadzenie Dnieprostroju należy więc do najkrwawszych jednostkowych działań wojennych w historii ludzkości. Innym przykładem może być katastrofa, do której doszło w nocy z 7 na 8 sierpnia

* Decyzję o wysadzeniu zapory podjął podpułkownik Borys Epow, który – dysponując upoważnieniem Stalina – starał się nie zdradzać swych zamiarów innym oficerom w obawie przed niemieckimi agentami. Jednakże zniszczenie Dnieprostroju, będącego przemysłową perłą ZSRS, stanowiło szok dla stacjonujących przy elektrowni żołnierzy, którzy wzięli Epowa za zdrajcę i sabotażystę. Podpułkownik został zatrzymany i poddany długotrwałym przesłuchaniom.

1975 roku w chińskiej prowincji Henan. Jednostka oddana do użytku w 1952 roku była owocem technologicznej współpracy sowiecko-chińskiej z początku lat 50. Zapora Banqiao została zbudowana na rzece Huai, aby zapobiegać powodziom i generować energię elektryczną. O losie obiektu przesądził tajfun Nina, który w sierpniu 1975 roku zderzył się nad Chinami z zimnym frontem atmosferycznym, co zmieniło pierwotną trasę tajfunu i spowodowało ogromny opad deszczu w okolicach elektrowni. W ciągu 24 godzin przy zaporze Banqiao spadło więcej wody niż zazwyczaj w ciągu roku – nieco ponad 1060 mm. To z kolei przełożyło się na gwałtowne podwyższenie poziomu wody w zbiorniku zapory. Personel sygnalizował potrzebę spuszczenia wody w dół rzeki, jednak zgody na taki ruch nie udzieliły lokalne władze, które zmagaly się z wywołanymi przez tajfun powodziami. Obawiano się, że spust wody jeszcze pogorszy sytuację. Tamta decyzja okazała się jednak brzemienna w skutki: nieustające opady spowodowały zerwanie zapory i utworzenie potężnej fali powodziowej o szerokości około 10 kilometrów, sięgającej wysokością nawet 7 metrów, która pędziła w dół rzeki z prędkością około 50 km/h. Według oficjalnych chińskich statystyk w wyniku uderzenia fali w prowincji Henan zginęło bezpośrednio około 26 tysięcy ludzi,

natomiast kolejne 150 tysięcy osób zmarło później wskutek następujących po powodzi chorób zakaźnych i głodu. Jednak nieoficjalne szacunki wskazują, że liczba ofiar sięgnęła aż 230 tysięcy*.

Elektrownie wodne to obecnie najpotężniejsze obiekty prądotwórcze, jakimi dysponuje człowiek, jeśli chodzi o moc zainstalowaną. W pierwszej dziesiątce największych elektrowni świata aż siedem pozycji zajmują jednostki hydroenergetyczne (głównie z Chin i Brazylii). Na pierwszym miejscu ulokowała się szczególnie imponująca chińska Zapora Trzech Przełomów (na rzece Jangcy w chińskiej prowincji Hubei). Jej wysokość sięga 181 metrów a długość – około 2,5 kilometra, z kolei jej grubość u podstawy wynosi 115 metrów. Jest to najdroższa pojedyncza budowla na świecie, największe zabezpieczenie przeciwpowodziowe Azji, a zarazem najpotężniejsza elektrownia w historii – dysponuje mocą około 23 GW, pracują tam aż 34 jednostki generacyjne, z czego 32 o mocy 700 MW oraz 2 o mocy 50 MW. Żeby budowa, która pochłonęła

* Patrząc na skalę zniszczeń wywołaną katastrofami zapór elektrowni wodnych, warto zauważyć, że Dnieprostroj i Banqiao pochłonęły niepomiarowo więcej istnień ludzkich niż Czarnobyl i Fukushima. W przypadku tych dwóch katastrof hydroenergetycznych liczba ofiar okazuje się porównywalna do tej, którą spowodowały bomby jądrowe zrzucone na Hiroszimę i Nagasaki.

około 37 miliardów dolarów (przy czym nie był to jedyny koszt związany z jej powstaniem), doszła do skutku, chińskie władze musiały podjąć decyzję o ewakuacji ponad 1,4 miliona osób, zatopieniu 17 dużych miast, 140 miasteczek i ponad 3000 wsi, wodzie oddano też 1600 fabryk oraz 1300 stanowisk archeologicznych. Co więcej, eksperci NASA oszacowali, że nagromadzenie wody przy tejże zaporze zwiększyło długość dnia o 0,06 mikrosekundy poprzez wpłynięcie na oś obrotu Ziemi. Chińczykom udało się też przesunąć biegun geograficzny planety o 2 centymetry.

Tak kolosalne rozmiary Zapory Trzech Przełomów niosą ze sobą jeszcze większe niebezpieczeństwo. Chiny (a precyzyjniej Chińska Republika Ludowa) to wszak państwo, które nieustannie zagraża niepodległości Tajwanu (czyli Republiki Chińskiej). Ten ciągnący się od dekad spór przechodzi niekiedy przez fazy szczególnego napięcia, w trakcie których zwiększa się ryzyko inwazji Chin kontynentalnych na broniącą swej odrębności wyspę. Jaki to ma związek z Zaporą Trzech Przełomów? Według raportów Pentagonu jednostka ta może się stać atrakcyjnym celem potencjalnego ataku Tajwanu, który – w absolutnej ostateczności – mógłby dokonać jej zniszczenia. Pekin agresywnie odpowiedział na takie doniesienia,

podkreślając przy tym, że obiekt jest na tyle solidny, iż wytrzyma nawet taktyczne bombardowanie nuklearne. Co jednak, jeśli chińskie władze się mylą? Oczywiście scenariusz ten należy do skrajnie mało realnych, ale w pełni wykluczyć się go nie da – Tajwan ma możliwości* do przeprowadzenia takiego ataku, a jego skutki byłyby porównywalne z następstwami uderzenia jądrowego.

Omawiając kwestie związane z hydroenergetyką, trzeba wspomnieć także o innym rodzaju wykorzystywania wody do generowania energii, mianowicie o elektrowniach szczytowo-pompowych (ESP). Jednostki te to największe magazyny energii na świecie**. Charakterystyka ich konstrukcji pozwala dobrze dopasować je do

* Jak wskazuje Maciej Szopa, ekspert militarny serwisu defence24.pl, Tajwan dysponuje kilkoma rodzajami broni, która byłaby w stanie zagrozić konstrukcji Zapory Trzech Przełomów. Do takich środków należy zaliczyć na przykład pocisk Yun Feng, czyli naddźwiękowy pocisk manewrujący o zasięgu 1200–2000 kilometrów, który osiąga prędkość 1030 m/s (co odpowiada 3 machom). Tajwan ma 50 pocisków tego rodzaju. Wyspiarski kraj dysponuje także ponaddźwiękowymi pociskami Hsiung Feng IIE o zasięgu 600–2000 kilometrów. Nie wiadomo dokładnie, ile tego rodzaju broni posiadają tajwańskie siły zbrojne, szacuje się, że od kilkudziesięciu do nawet kilkuset sztuk.

** To, że właśnie ESP, czyli proste konstrukcyjnie urządzenia przetwarzające energię potencjalną w kinetyczną i elektryczną, są najpopularniejszymi magazynami energii na świecie w XXI wieku, dość dużo mówi o technicznych możliwościach magazynowania, jakie posiadał człowiek.

zmiennej pracy systemów energetycznych, które opierają się w coraz większej mierze na źródłach pogodozależnych, takich jak energetyka wiatrowa czy słoneczna. ESP dysponują dwoma połączonymi ze sobą zbiornikami wody położonymi na różnych wysokościach. Kanały, które łączą te zbiorniki, są wyposażone w turbiny generujące energię elektryczną. Kiedy w systemie, w którym działają ESP, odnotowuje się nadwyżkę mocy względem zapotrzebowania, wytwarzaną energię przesyła się do tychże jednostek, a te pompują wodę ze zbiornika położonego niżej do zbiornika położonego wyżej. Gdy to zapotrzebowanie na moc zaczyna górować nad jej podażą, w ESP dochodzi do spustu wody z górnego zbiornika. Jej przepływ przez turbiny pozwala generować energię elektryczną i oddawać ją do sieci.

Obecnie hydroenergetyka to największe źródło energii zaliczane do sektora OZE. W skali świata moce zainstalowane w tej technologii sięgają około 1400 GW. Dla wielu państw (na przykład dla Szwecji czy Norwegii) technologia ta to podstawa miksu energetycznego, gwarantująca bardzo niską intensywność emisji. Choć kluczowym narzędziem hydroenergetycznym są obecnie elektrownie generujące energię elektryczną za pomocą turbin lokowanych przy spiętrzeniach, to ludzkość nie odeszła

całkowicie od tradycyjnych kół wodnych napędzających różnorakie młyny. O ile w Europie czy Ameryce Północnej obiekty takie stanowią głównie atrakcje turystyczne, o tyle w krajach Azji urządzenia te wciąż wspierają przemysł. Czynne koła wodne zachowały się głównie w państwach, gdzie występują spore ubytki i spiętrzenia wody, na przykład w Indiach czy Nepalu. W pierwszym z wymienionych wciąż działa około 200 tysięcy młynów wodnych, w drugim - około 25 tysięcy.

Pora na omówienie jeszcze jednego źródła energii, które funkcjonuje dzięki wodzie. Chodzi o przekazywaną dzięki wodzie energię cieplną, której źródłem jest struktura planety, czyli wspomnianą już energię geotermalną. Człowiek korzystał z niej jeszcze w starożytności. Świadczą o tym chociażby rzymskie termy w angielskim Bath, zbudowane w I wieku naszej ery. Pod koniec średniowiecza ludzie opanowali technologię przekierowywania wody podgrzanej energią geotermalną do systemów ciepłowniczych, co z czasem stało się jednym z najpopularniejszych sposobów jej zagospodarowywania. W 1904 roku rozpoczęło się pozyskiwanie energii elektrycznej z gorących źródeł. Przyczynił się do tego Piero Ginori Conti, który uruchomił w Toskanii pierwszą elektrownię geotermalną świata Centrale

Larderello*. Początkowo obiekt umożliwiał zasilanie za-
ledwie czterech żarówek, natomiast po 1911 roku został
rozbudowany i aż do roku 1958 był jedyną komercyj-
ną jednostką działającą dzięki tej technologii. Centrale
Larderello pozyskiwała parę pochodzącą ze źródeł geo-
termalnych do napędzania turbiny podpiętej do gene-
ratora, dlatego też możliwości bezpośredniej aplikacji
takiego rozwiązania były ograniczone prawie wyłącznie
do złóż o odpowiednio wysokiej temperaturze. Dopie-
ro w 1967 roku sowieccy inżynierowie opracowali tak
zwaną binarną elektrownię geotermalną, która umoż-
liwiała produkcję energii elektrycznej ze źródeł geo-
termalnych o znacznie niższej temperaturze notowa-
nej podczas ekstrakcji. Binarny cykl pracy elektrowni
polegał na wypompowywaniu gorącej wody, która na-
stępnie oddawała swoje ciepło do zewnętrznego obie-
gu napędzającego turbinę, a potem wracała do źródła
geotermalnego. Jednakże nawet ta technologia wyma-
gała odpowiedniej temperatury przy ekstrakcji; w wie-
lu miejscach na świecie jej osiągnięcie nie jest możliwe
mimo występowania ujęć geotermalnych, co powoduje,

* Energię elektryczną wytwarza się tam do dziś. Elektrownia w Lar-
derello odpowiada za około 10% światowej produkcji energii elek-
trycznej ze źródeł geotermalnych.

że pozyskiwana energia geotermalna jest tam używana albo do celów grzewczych (w ciepłownictwie), albo do celów leczniczo-rekreacyjnych (w parkach wodnych), albo do celów przemysłowych (w hodowli ryb tropikalnych). Obecnie rynek światowy dysponuje około 16 GW mocy zainstalowanych w elektroenergetyce geotermalnej.

BIOENERGIA

Terminem „bioenergia” określa się energię wytwarzaną z biomasy i jej produktów. Z kolei biomasa to materiał organiczny pochodzenia biologicznego. Zalicza się do niej na przykład drewno, rośliny energetyczne, odpady rolnicze oraz leśne, a także resztki żywności. Biomase przetwarzają się w celu wytwarzania ciepła, energii elektrycznej lub biogazu, z którego potem można wydzielić biometan. Przed erą węgla to właśnie biomasa była głównym źródłem energii dla cywilizacji człowieka.

Najprostszym sposobem wykorzystania biomasy do produkcji energii jest jej spalanie – robi się tak choćby z drewnem. Do tego służą też inne paliwa, takie jak pellet, który tworzony jest w wyniku sprasowania

odpadów drewnianych. Choć jest to proces emisyjny, to jednak bioenergia z biomasy zaliczana jest do źródeł odnawialnych o niskim śladzie środowiskowym. Opiera się to na swego rodzaju... kreatywnej księgowości, zakładającej, że spalanie biomasy nie będzie aktem jednostkowym, tylko procesem, a więc będzie wymagało stałych dostaw nośników energii. Żeby takowe powstały, potrzebne będą na przykład nowe nasadzenia drzew lub innych roślin, które - w procesie swojego wzrostu - wychwycą dwutlenek węgla wyemitowany podczas spalania poprzednich transz paliwa. I tak w kółko. Taki mechanizm działania nie broni się jednak przed zarzutami dotyczącymi emisji gazów cieplarnianych w obliczu globalnego ocieplenia - cóż z tego, że w następnych latach wyprodukowane przy spalaniu biomasy substancje zostaną być może pochłonięte, skoro celem ludzkości powinna być jak najszybsza dekarbonizacja? Dlatego coraz więcej podmiotów (na przykład kraje UE) odchodzi od traktowania biomasy jako zrównoważonego środowiskowo i klimatycznie nośnika energii. Branża bioenergetyki zaczęła orientować się w sytuacji, dlatego od pewnego czasu trwają trwają próby opracowania modelu funkcjonowania jednostek spalających biomasę w połączeniu z instalacjami wychwytu

i składowania dwutlenku węgla. Urządzenia takie określa się mianem BECCS (*BioEnergy with Carbon Capture and Storage*).

Ciekawą technologią bioenergetyczną – zwłaszcza dla państw takich jak Polska – może być produkcja biometanu. Proces ten pozwala z jednej strony zagospodarować pewną frakcję rolniczej lub hodowlanej biomasy, a z drugiej – poszerza katalog źródeł gazu, co ma niebagatelne znaczenie geopolityczne. Produkcja biometanu odbywa się w biogazowniach. Pierwszą tego typu jednostkę zbudowano w 1859 roku w Indiach. Zasilala placówkę dla trędowatych w Bombaju. Obecnie biogazownie stawia się przy farmach lub hodowlach, składowiskach odpadów oraz oczyszczalniach ścieków. W jednostkach tych dochodzi do fermentacji przetworzonej biomasy, w której powstaje biogaz bogaty w metan. Następnie materiał ten się oczyszcza i w ten sposób otrzymuje biometan o jakości zbliżonej do gazu ziemnego. Surowiec ten zwykle bywa wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej i ciepłej w zlokalizowanych przy biogazowniach agregatach prądotwórczych. Standardowe biogazownie dysponują zazwyczaj niewielką mocą wytwórczą 0,5–1,5 MW. Na świecie funkcjonują biogazownie o łącznej mocy około 22 GW.

Do zasobów bioenergii zalicza się także tak zwane biopaliwa. Terminu tego używa się w odniesieniu do paliw ciekłych, takich jak bioetanol i biodiesel. Bioetanol produkuje się w wyniku fermentacji cukrów zawartych w roślinach, takich jak kukurydza, burak cukrowy czy trzcina cukrowa. Można dodawać go do benzyny jako biokomponent, co wpływa na redukcję jej śladu węglowego. Z kolei biodiesel uzyskuje się z olejów roślinnych lub tłuszczów zwierzęcych w procesie estryfikacji. Może być stosowany jako zamiennik tradycyjnego oleju napędowego.

W ostatnich miesiącach straszono nas w mediach społecznościowych blackoutami, czyli sytuacjami, w których w setkach polskich domów nie ma prądu. Pojawiało się wtedy też hasło „brownout”. Czym on jest?

Brownout to kontrolowane przez operatora odłączenie danej grupy odbiorców od zasilania w energię elektryczną. Do sytuacji takiej dochodzi, kiedy operator chce ratować stabilność systemu kosztem odcięcia dostaw od części klientów – dzięki temu można redukować obciążenie całości sieci.



JAK DZIAŁA SYSTEM ENERGETYCZNY

„Choć to szaleństwo, lecz jest w nim metoda”.

William Shakespeare, *Hamlet*

Zapoznanie się z kluczowymi technologiami oraz źródłami energii pozwala przejść do kwestii zarządzania systemem energetycznym. Jest to zagadnienie niezwykle złożone – tak samo jak sam system. Żeby dobrze zrozumieć poszczególne jego funkcjonowanie, warto rozbić tego energetycznego molocha na kilka mniejszych – choć i tak ogromnych – elementów.

SYSTEM ELEKTROENERGETYCZNY

System elektroenergetyczny jest największym „urządzeniem”, jakie stworzył człowiek. To prawdziwy olbrzym, potrafiący opłacać całe kontynenty i łączyć w jedną sieć setki milionów podmiotów. Zarządzanie tak potężną infrastrukturą to niezwykle odpowiedzialne zadanie. Wystarczy niewielki błąd operatora systemu, by spowodować awarię, której skutki mogą się rozlać na kilka państw. Dlatego współcześnie ośrodki zajmujące się zarządzaniem systemem elektroenergetycznym należą do najmniej strzeżonych miejsc na świecie. Jednak zanim system wyewoluował do obecnych rozmiarów, musiał przejść długą, pełną zawirowań drogę rozwoju.

Pierwsze systemy elektroenergetyczne były niewielkie. Pracowały w oparciu o skromne moce wytwórcze i miały bardzo ograniczone grono odbiorców. Dla przykładu, zbudowany w 1881 roku w Anglii pierwszy system elektroenergetyczny zasilany był dwoma kołami wodnymi i pozwalał na rozświetlenie około 40 lamp, często doznając przy tym awarii i przerw w dostawie energii elektrycznej. Jednak postęp w sektorze wytwórczym, to jest pojawianie się kolejnych, coraz większych i wydajniejszych elektrowni, napędzał także rozwój systemu

elektroenergetycznego. System oparty na elektrowni Pearl Street Station pozwalał w pierwszym roku jej działania zasilić 3000 lamp, a później już 10 tysięcy.

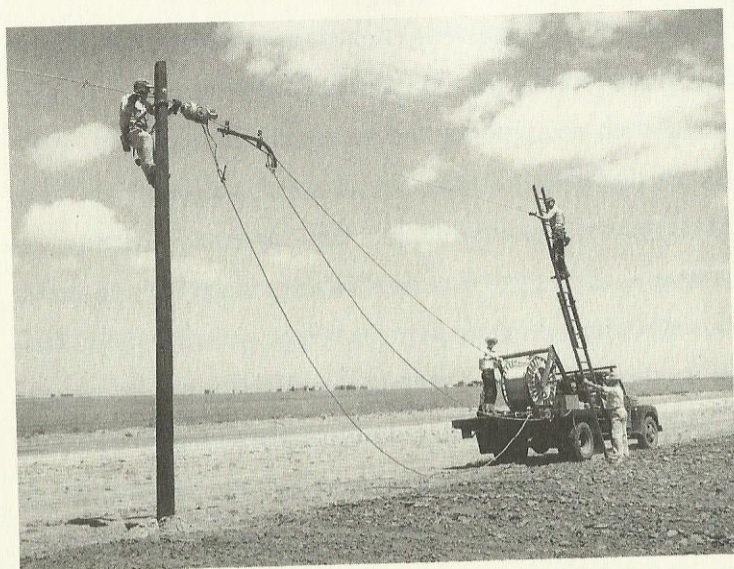
Ważne dla rozwoju systemów elektroenergetycznych okazało się wynalezienie w roku 1884 transformatora (skonstruowali go wynalazcy Lucien Gaulard i John Dixon Gibbs), a udoskonalonego już w roku następnym. Urządzenie, zbudowane z rdzenia tworzącego obwód magnetyczny oraz z cewek, pozwala na zmianę napięcia w sieci elektroenergetycznej. Coraz większa popularność elektrycznego zasilania spowodowała, że już na przełomie lat 80. i 90. XIX wieku w USA o palmę pierwszeństwa walczyły z sobą dwa modele systemów energetycznych: stworzony przez Thomasa Edisona i jego spółkę oraz rozpowszechniany przez George'a Westinghouse'a. Pierwszy z wymienionych oparł swoją infrastrukturę przesyłową na prądzie stałym, drugi - na przemiennym (wspierając się przy tym między innymi wynalazkami Nikoli Tesli)*. Historia przyznała rację Westinghouse'owi i dziś

* Prąd stały to rodzaj prądu, w którym kierunek przepływu ładunków elektrycznych pozostaje niezmienny przez cały czas. Oznacza to, że prąd płynie zawsze w jednym kierunku. Prąd przemienny to rodzaj prądu, w którym kierunek przepływu ładunków elektrycznych regularnie zmienia się w czasie. To znaczy, że prąd przemienny płynie najpierw w jednym kierunku, a następnie w drugim, powtarzając ten cykl.

w zdecydowanej większości linii energetycznych wysokiego napięcia płynie prąd przemienny (są od tego wyjątki, czyli linie HVDC [ang. *High Voltage Direct Current*], służące do przesyłania energii elektrycznej na duże odległości*). Niemniej jednak kilka lat rywalizacji między dwoma pionierami elektroenergetyki pełne były propagandowych wybiegów jednej i drugiej strony, które na przykład bombardowały opinię publiczną informacjami na temat śmierci pracowników spółek energetycznych po zetknięciu się z liniami przesyłowymi. Miało to wywołać strach przed rozwiązaniami proponowanymi przez oponenta.

W latach 90. XIX wieku zaczęto budować pierwsze trakcje energetyczne na długich dystansach. Rozwój systemów elektroenergetycznych był wtedy napędzany wzrostem mocy jednostek wytwórczych oraz szybkim uprzemysłowieniem. Elektrownie mogły generować coraz więcej energii elektrycznej – a fabryki i inne zakłady coraz bardziej jej potrzebowały. Wiek XX to czas coraz głębszej integracji systemów elektroenergetycznych, a z czasem także i automatyzacji ich pracy. Rozrost infrastruktury dostarczającej energię elektryczną do coraz to nowych grup odbiorców powodował łączenie się

* Najdłuższa linia tego rodzaju znajduje się w Brazylii i jest rozciągnięta na długości 2500 kilometrów.



Jednostka organizacji odpowiedzialnej za elektryfikację wsi w Stanach Zjednoczonych
(Rural Electrification Administration - REA).

mniejszych systemów w większe sieci. W Polsce jednolity system elektroenergetyczny utworzono w roku 1953, a w latach 60. przeprowadzono praktycznie pełną elektryfikację kraju. Z czasem zaczęto budować interkonektory, czyli punkty łączące różne systemy elektroenergetyczne, często należące do różnych państw*. W 1961 roku powstał pierwszy podwodny interkonektor łączący Wielką Brytanię i Francję. Od 1962 roku Polska współpracowała z operatorami systemów elektroenergetycznych krajów należących do RWPG. Budowa takiej infrastruktury oraz umożliwienie wymiany transgranicznej poprawiły bezpieczeństwo energetyczne poszczególnych państw i regionów, otworzyły możliwości handlowe w zakresie sprzedaży i kupna energii od zagranicznych dostawców, ale też zwiększyły zakres obowiązków w zakresie kontroli nad sytuacją w poszczególnych systemach elektroenergetycznych. Tak oto stały się one gigantycznymi „żywymi organizmami” rozciągniętymi na obszar całych kontynentów.

Współczesne systemy elektroenergetyczne mają złożony charakter; można je podzielić na cztery główne

* Zdarzają się interkonektory będące łącznikami między dwoma systemami pracującymi w ramach tego samego kraju. Tak jest w przypadku Hiszpanii, która posiada interkonektor łączący kontynentalną część tego państwa z systemem Majorki oraz innych wysp Archipelagu Balearów.

segmenty. Podstawową rolę odgrywają producenci energii elektrycznej, czyli rozmaite elektrownie. Wyprodukowana tam energia jest następnie przesyłana do odbiorców. Jej transport na dalekie odległości odbywa się za pomocą linii przesyłowych (to drugi segment systemu elektroenergetycznego). W Polsce do linii przesyłowych zalicza się linie najwyższych i wysokich napięć. Za dostarczenie energii do odbiorców końcowych odpowiada część dystrybucyjna systemu (trzeci segment). W jej skład wchodzi między innymi linie średnich i niskich napięć. Ostatnim elementem systemu elektroenergetycznego są odbiorcy, czyli konsumenci energii elektrycznej, którzy coraz częściej pełnią funkcję prosumenta - a więc jednocześnie zużywają, ale i wytwarzają energię elektryczną (na przykład dzięki instalacjom fotowoltaicznym).

Nad funkcjonowaniem systemu elektroenergetycznego czuwa operator lub operatorzy. Podstawowym zadaniem takiego podmiotu jest zbilansowanie systemu. Rozumie się przez to taką sytuację, w której zapotrzebowanie na moc jest równe jej podaży. System elektroenergetyczny musi być zrównoważony w każdej chwili - w przeciwnym razie może dojść do katastrofy. Zarówno deficyt, jak i nadmiar mocy są zagrożeniem dla działania systemu i mogą spowodować jego poważne uszkodzenia.

W Polsce operatorem systemu przesyłowego jest spółka Polskie Sieci Elektroenergetyczne. Zarządza ona liniami o łącznej długości około 16 tysięcy kilometrów. Z kolei nad systemami dystrybucyjnymi pieczę sprawują spółki dystrybucyjne poszczególnych grup elektroenergetycznych (jak PGE Dystrybucja, największy tego rodzaju podmiot w Polsce). To na Polskich Sieciach Elektroenergetycznych spoczywa odpowiedzialność za zapewnienie równowagi w systemie elektroenergetycznym. Kluczowe w tym zakresie jest planowanie pracy tego systemu, czyli *de facto* obliczanie, jak w danym czasie będzie wyglądać podaż mocy (czyli dostępność jednostek wytwórczych) oraz zapotrzebowanie. Plany takie są sporządzane na różne okresy, przez co różnią się one stopniem szczegółowości.

W planach wieloletnich operator może sygnalizować pewne kierunki rozwoju całości systemu elektroenergetycznego, aby umożliwić jego bezpieczne funkcjonowanie w przyszłości. Dokumenty takie pokazują z dużym wyprzedzeniem, jak będzie się zmieniać zapotrzebowanie gospodarki na energię elektryczną, a przy tym szacują liczbę jednostek wytwórczych potrzebnych do jego zaspokojenia. Przygotowanie planu średnioterminowego (na 2-5 lat) pozwala stworzyć coś w rodzaju kalendarza remontów. Dzięki niemu spółki energetyczne mogą

bezpiecznie przeprowadzać inwestycje związane na przykład z odcięciem od systemu poszczególnych elektrowni. Operator – uprzednio powiadomiony o takim zamiarze – jest w stanie przygotować dla tej jednostki zastępstwo w taki sposób, żeby nie było ryzyka deficytu mocy. Z kolei plany krótkoterminowe umożliwiają dobowe zbilansowanie działania systemu. Opracowując je, operator uwzględnia zgłaszaną dostępność jednostek wytwórczych, plany transgranicznej wymiany energii oraz umowy handlowe zawierane między uczestnikami rynku energetycznego (wyjściowym mechanizmem regulującym pracę systemu jest bowiem mechanizm rynkowy*). Bierze się też pod uwagę prognozę pogody, która pomaga oszacować uzysk energii ze źródeł odnawialnych, a także (w pewnej mierze) spodziewane zapotrzebowanie na moc. Ta druga wartość jest ustalana przede wszystkim na bazie modeli stworzonych dzięki danym historycznym. Planując pracę systemu, operator uwzględnia też tak zwaną rezerwę, czyli określoną nadwyżkę mocy, która może zostać użyta do reagowania na nieprzewidziane zapotrzebowanie lub awarię którejś z jednostek wytwórczych. W Polsce

* Warto zauważyć, że rynek energii elektrycznej na przykład w krajach UE, ale też w innych miejscach na świecie jest w dużej mierze kształtowany przez politykę klimatyczną. Świadczy o tym chociażby wpływ systemów handlu emisjami na końcowe ceny energii.

rezerwa ta wynosi co najmniej 9% planowanego zapotrzebowania. Operator musi też bilansować system w czasie rzeczywistym – podaż mocy musi zgadzać się z popytem w każdej chwili, co z kolei prowadzi do konieczności nieustannego monitorowania produkcji energii elektrycznej oraz poboru. Każde zachwianie tą kruchą równowagą może mieć katastrofalne konsekwencje. Najpoważniejszą z nich jest blackout*, czyli rozległa awaria systemu, która może nastąpić zarówno przy niedostatku, jak i nadpodaży mocy. W obu tych sytuacjach systemy automatyki zabezpieczeniowej mogą odłączyć rozległe grupy odbiorców od dostaw energii, a także kaskadowo odstawić pracujące w systemie jednostki wytwórcze. W absolutnie krytycznej wersji tego scenariusza część infrastruktury systemowej

* Niezależnie od tego, jak ocenia się sytuację systemu elektroenergetycznego i działania operatora, do takiej sytuacji jak blackout warto się przygotować. System elektroenergetyczny jest bowiem „urządzeniem” – i tak jak każde inne urządzenie nie jest idealny, ma swoją awaryjność oraz słabe punkty. Dlatego też każdy powinien się zastanowić, czy dysponuje podstawowymi narzędziami niezbędnymi w przypadku blackoutu. Chodzi przede wszystkim o źródła światła, tudzież energii (latarki, baterie, akumulatory, agregaty prądotwórcze), zestaw pierwszej pomocy, proste narzędzia oraz środki komunikacji niebędące telefonami komórkowymi (na przykład radio na baterie). Przydatna jest także gotówka, kasy fiskalne w sklepach mogą bowiem pracować bez zasilania systemowego (mają własne akumulatory), ale płatności elektrycznych nie będzie można dokonać.

może ulec uszkodzeniu, co znacznie wydłuży czas potrzebny na usunięcie awarii.

Aby uniknąć jakichkolwiek niebezpieczeństw, na jakie może być narażony system elektroenergetyczny, operator został wyposażony w narzędzia, dzięki którym może kontrolować sytuację w systemie. Do kompetencji operatora należy na przykład bieżące zarządzanie mocą tych elektrowni, które wchodzi do katalogu Jednostek Wytwórczych Centralnie Dysponowanych. Mówiąc obrazowo, operator może wydawać tym elektrowniom polecenia zwiększenia lub zmniejszenia podaży mocy, zależnie od sytuacji w systemie. W razie potrzeby niektóre z tych jednostek mogą nawet podjąć pracę w przeciążeniu, czyli *de facto* wykroczyć poza swój poziom mocy znamionowej. Jest to dość ekstremalne rozwiązanie, grożące awarią, przez co można je zastosować jedynie przez krótki czas oraz tylko w niektórych elektrowniach. Operator z jednej strony może również skorzystać z ESP oraz usług zarządzania popytem. W tym drugim przypadku niektóre podmioty (ang. *Demand Side Response*) dobrowolnie zgłaszają się do zmniejszenia poboru mocy, za co potem otrzymują wynagrodzenie. Z drugiej strony w gestii operatora leży także wezwanie podmiotów związanych tak zwanymi kontraktami mocowymi do dostarczenia przewidzianych nimi mocy

do systemu. Jeśli krajowe środki zawiodą i bilans systemowy nadal jest zagrożony, operator może sięgnąć także po interwencyjne zakupy mocy, zwracając się w tym zakresie do operatorów zagranicznych.

Jednak zdarzają się sytuacje, w których powyższe działania wciąż nie są wystarczające do zrównoważenia systemu. Wtedy operatorowi pozostają narzędzia nadzwyczajne, zwane też narzędziami ostatniej szansy. Należą do nich tak zwane stopnie zasilania, czyli ograniczenia w dostarczaniu i poborze energii elektrycznej oraz wyłączenia określonych grup odbiorców (tak zwany brownout). Stopnie zasilania po raz ostatni wprowadzono w Polsce w sierpniu 2015 roku, kiedy wskutek splotu kilku okoliczności w polskim systemie zabrakło mocy*. Natomiast brownouty zdarzają się niekiedy na przykład w Kalifornii. Jeśli nawet mimo wdrożenia narzędzi nadzwyczajnych operatorowi nie udaje się opłacać sytuacji, zachodzi ryzyko wystąpienia blackoutu.

* W sierpniu 2015 roku Polskę nawiedziła fala upałów, co wpłynęło na wzrost zapotrzebowania na moc (potrzebną chociażby do zasilania systemów chłodzenia). Wysoka temperatura spowodowała też obniżenie poziomu wód w rzekach, przez co jednostki wytwórcze chłodzone właśnie wodą rzeczną musiały ograniczyć pracę. Na znacznie niższych obrotach działały również farmy wiatrowe, będące wtedy jedynym istotnym OZE w polskim systemie. W wielu elektrowniach zaplanowano wtedy remonty, a w pojedynczych jednostkach doszło do tak zwanych zdarzeń nieplanowanych, czyli awarii.

W normalnych warunkach pracy systemu nie jest ono zbyt duże, jednakże wystarczy, żeby kilka niesprzyjających okoliczności nałożyło się na siebie, a znacząco się ono podwyższy. Do takich sytuacji zaliczyć można przykładowo awarię stacji rozdzielczej Elektrowni Bełchatów z maja 2021 roku, podczas której prawie cała moc tej jednostki wypadła z systemu.

Ze względu na strategiczne znaczenie dostaw energii elektrycznej dla współczesnych państw operatorzy systemów elektroenergetycznych są traktowani w wyjątkowy sposób. Wyrazem tego są na przykład nadzwyczajne zabezpieczenia obiektów kluczowych dla pracy operatorskiej. Dlatego jednym z najlepiej i najpilniej strzeżonych miejsc w Polsce jest siedziba PSE w Konstancinie-Jeziornej, gdzie mieści się Krajowa Dyspozycja Mocy, czyli mózg całego polskiego systemu elektroenergetycznego.

DOSTAWY SUROWCÓW

Nieco inaczej wygląda zarządzanie systemem dostaw surowców energetycznych oraz paliw. Ten sektor – w porównaniu z elektroenergetyką – jest znacznie bardziej liberalny i oparty na działaniach podmiotów prywatnych, choć ma też na przykład swoich operatorów. Są to zazwyczaj podmioty

kontrolujące działanie infrastruktury przesyłowej (gazo- i ropociągów) i magazynowej (magazynów gazu czy paliw). W Polsce funkcję w tym zakresie pełnią odpowiednio spółki Gaz-System oraz PERN, a także Gas Storage Poland.

Ze względu na bezpieczeństwo funkcjonowania gospodarki podmioty działające w sektorze wydobywczym czy paliwowym muszą spełnić dodatkowe warunki stawiane im przez ustawodawcę. Podstawową regulacją prawną jest wymóg uzyskania koncesji, czyli zgody na działalność gospodarczą w określonej branży. W prawie polskim koncesję musi uzyskać przedsiębiorca, który chce magazynować bezzbiornikowo substancje pod ziemią, poszukiwać surowców i je wydobywać, a także zajmować się wytwarzaniem i/lub dystrybucją energii elektrycznej, gazu ziemnego, paliw gazowych, paliw ciekłych i ciepła oraz ich obrotem, jak również skraplaniem gazu ziemnego. Warto też wspomnieć o wymogach dotyczących utrzymywania obowiązkowych zapasów paliw.

SYSTEM CIEPŁOWNICZY

System ciepłowniczy to infrastruktura służąca do dostarczania ciepła do budynków. Jest on – w porównaniu z systemem

elektroenergetycznym – znacznie bardziej zdecentralizowany. Często wykorzystuje się indywidualne, przydomowe źródła ciepła w postaci na przykład kotła na paliwo stałe, kotła gazowego lub pompy ciepła*, jednakże działają również znacznie bardziej rozbudowane systemy, jak choćby miejskie. W dużych systemach ciepło wytworzone w poszczególnym źródle (na przykład w ciepłowni czy elektrociepłowni) jest przekazywane do medium przenoszącego (zwykle jest to woda lub para wodna). Medium krąży w zamkniętej sieci rur na określonym obszarze.

* Pompy ciepła działają na podobnej zasadzie jak lodówki: urządzenie pobiera ciepło z jednego miejsca za pomocą płynu chłodniczego, następnie podnosi jego temperaturę i przekazuje je do drugiego miejsca, gdzie ciepło jest potrzebne. Proces ten polega na cyklicznym przekształcaniu czynnika chłodniczego z ciekłego w parę, a następnie z powrotem w stan ciekły.

Dużo mówi się o potrzebie transformacji, bo dotychczasowy system jest szkodliwy dla środowiska i prowadzi do zmian klimatu? Ale czy one rzeczywiście są groźne? Czy człowiek się do nich po prostu nie dostosuje?

Historia zna już przypadki upadków wielkich imperiów spowodowanych właśnie zmianami klimatycznymi. Cywilizacja Majów rozwijająca się na terenie Ameryki Środkowej zaczęła chylić się ku upadkowi około 700 roku, kiedy rejon zaczęły nawiedzać potężne susze, co zaburzyło gospodarkę żywnościową i doprowadziło do wyludnienia miast oraz potężnych konfliktów wewnętrznych. Imperium Rzymskie, które sięgało od Wielkiej Brytani po dzisiejszy Iran i od Niemiec po Egipt, upadło, gdy między II a IV wiekiem n.e. różne rejony kraju musiały mierzyć się z suszami lub znacznym ochłodzeniem. Zmiany klimatyczne pchnęły też do migracji ludy barbarzyńskie, co spowodowało dla Imperium zagrożenie militarne.



TRANSFORMACJA

*„Comegather 'roundpeople
Wherever you roam
And admit that the waters
Around you have grown”**

Bob Dylan, *The Times They Are A-Changin'*

Poprzednie rozdziały, poświęcone historii rozwoju poszczególnych źródeł energii oraz mechanizm działania systemów energetycznych, pokazują, że nasza cywilizacja w czasie swojego najbardziej dynamicznego rozwoju okazała się swoistym wielkim kotłem, spalającym na potęgę paliwa kopalne. Węgiel, gaz, ropa – wszystkie te nośniki energii stały się fundamentami światowej gospodarki. Ich wydobycie wciąż bije rekordy; rekordy biją również emisje pochodzące z ich spalania. I tu zaczyna

* Zbierzcie się ludzie, skądkolwiek jesteście i przyznajcie, że wody narosły wokół was.

się problem, zwany powszechnie antropogeniczną zmianą klimatu.

Tworząc swoją cywilizację, człowiek funkcjonował we w miarę stabilnych i przewidywalnych ramach klimatycznych. Poszczególne populacje, tudzież kultury wiedziały – mniej więcej – jakich wahań temperatur można się spodziewać w danych lokalizacjach. Pory roku dawały się przewidzieć, co umożliwiało zaplanowanie i zorganizowanie prac polowych. Ekstremalne zjawiska pogodowe niezmiernie rzadko wychodziły poza określone skale i obszary, dzięki czemu można było przygotować na nie gospodarke. Duże ekosystemy trwały we względnej równowadze, niezagrożone nagłymi migracjami nowych gatunków czy pogorszeniem się warunków bytowych – zmienił je na szeroką skalę jedynie człowiek i jego cywilizacja.

Oczywiście klimat zmieniał się w czasie, ale były to ewolucyjne zmiany naturalne, wynikające przede wszystkim z cykli Milankovicia, czyli zmian parametrów orbity ziemskiej wpływających na ilość dostarczanej na półkulę północną energii słonecznej. Dlatego też, patrząc na dane zbierane przez paleoklimatologów, w historii naturalnej Ziemi można zauważyć rozciągnięte na tysiąclecia regularne cykle klimatyczne, złożone z przeplatających się okresów ochłodzenia i ocieplenia. Ale obecna

zmiana klimatu do żadnego takiego wzoru nie pasuje. Wręcz przeciwnie: gwałtowność tego, co dzieje się w atmosferze ziemskiej, jednoznacznie wskazuje, że klimatem zaczął rządzić nowy czynnik. Jest nim oczywiście człowiek i jego wysoko emisyjna gospodarka.

Co ważne, historia zna przypadki cywilizacji, populacji, kultur, które zatrzęśły się między innymi ze względu na te naturalne fluktuacje klimatyczne zachodzące na długo przed pierwszą rewolucją przemysłową. Nawet powolne zmiany klimatu okazały się zbyt wielkim wyzwaniem dla niektórych państw i społeczeństw. Dla przykładu: historycy wskazują, że jedną z przyczyn upadku Imperium Rzymskiego były pogarszające się już w II wieku po Chrystusie warunki rolne. Ochłodzenie w centralnej Europie i susze w basenie Morza Śródziemnego sprawiły, że rzymska gospodarka stanęła w obliczu niedoborów żywności. Cena pożywienia istotnie wzrosła, co uderzyło w najuboższych, rozpoczynając proces wewnętrznej destabilizacji. Ponadto zmieniające się warunki klimatyczne umożliwiły rozprzestrzenienie się po Imperium nowych chorób: dżumy i ospy. Problemy z żywnością i epidemie skutkowały zmniejszeniem liczby ludności. Na to z kolei nałożyły się migracje ludów barbarzyńskich, spowodowane między innymi mniej sprzyjającym klimatem na terenach

wcześniej przez nie zajętych. Podobny los spotkał potężną cywilizację Majów, która zamieszkiwała obszary dzisiejszego Meksyku, Belize i Hondurasu; zaczęła chylić się ku upadkowi ze względu na dotkliwe susze z VIII wieku po Chrystusie. Długotrwałe okresy suche znacząco zmniejszyły plony, co przełożyło się na niedobory żywności. W miastach zaczęły narastać konflikty społeczne, z czasem metropolie zaczęły się wyludniać – ich mieszkańcy wywędrowali w poszukiwaniu żywności na wieś. Kolejny długi okres suchy przyspieszył te zmiany. W ten sposób rozwinięta i zaawansowana cywilizacja rozproszyła się i już nigdy nie powróciła do dawnej potęgi. Dziś już wiadomo, że tamte susze były spowodowane zmieniającym się w Ameryce Środkowej i Południowej klimatem. Również Polska, a ściślej I Rzeczpospolita, może uchodzić za przykład państwa, które weszło na ścieżkę dekompozycji między innymi ze względu na zmiany klimatyczne. Rozpoczynająca się na przełomie XVI i XVII wieku Mała Epoka Lodowa uderzyła w podstawę polskiej gospodarki, którą był handel zbożem. Coraz słabsze plony spowodowały ubożenie szlachty, która trudniła się sprzedażą zbóż, co z kolei doprowadziło do patologii instytucjonalnych państwa: biedniejsze warstwy szlacheckie zaczęły się zadłużać lub żyć na koszt bogatszych, co pociągnęło za sobą

zależności polityczne (to właśnie szlachta była stanem uprawnionym do sprawowania władzy w ramach demokracji szlacheckiej). W XVII wieku w Polsce wykształciła się grupa magnatów, którzy – za pomocą wpływów ekonomicznych wśród ubogiej szlachty – byli w stanie kształtować politykę I Rzeczypospolitej na swoją korzyść. W kraju zaczął panować coraz większy chaos i paraliż organizacyjny. Najazdy sąsiadów (niekiedy powodowane sytuacją klimatyczną – Szwedzi rozpoczęli swoje południowe wyprawy wojenne między innymi ze względu na pogarszające się miejscowe warunki atmosferyczne do uprawy roślin i połowu ryb; to właśnie dlatego zajęli na przykład Skanię, będącą wówczas spichlerzem Danii) nie poprawiły naszej sytuacji. Polska, która niegdyś była potęgą, w wiek XVIII weszła jako państwo słabe, a zakończyła go zniknięciem z mapy Europy na 123 lata.

Losy Imperium Rzymskiego, cywilizacji Majów czy I Rzeczypospolitej pokazują nie tylko możliwy wpływ klimatu na człowieka, jego środowisko i dorobek cywilizacyjny. Okazuje się, że upadek cywilizacji to proces czasochłonny, rozciągający się na dekady czy nawet stulecia. To nie katastroficzny film fabularny, ale raczej wieloodcinkowy serial. Potężne organizmy państwowo-społeczne nie znikają bowiem z dnia na dzień, schodzą ze sceny

dziejów znacznie wolniej i w mniej spektakularny sposób. A o ich odejściu może decydować między innymi zmiana klimatu.

Ten ważny wniosek dotyczy także współczesnej globalnej cywilizacji, która wpływa na to, co się dzieje w ziemskiej atmosferze. Postępująca obecnie zmiana klimatu jest w stanie zagrozić ludzkości w stopniu niepomrotnie większym niż dawniejsze naturalne okresy ochłodzenia lub ocieplenia.

Kluczowym czynnikiem, który decyduje o destrukcyjnym wpływie zachodzącej aktualnie antropogenicznej zmiany klimatu, jest jej duże tempo. W ciągu zaledwie dwustu lat człowiek przyczynił się do zwiększenia stężenia dwutlenku węgla w atmosferze o mniej więcej 40%, z poziomu około 280 do 421 cząsteczek na milion cząsteczek powietrza (*parts per milion* - ppm). W przeszłości tak szybkie zmiany zachodziły wyłącznie z powodu potężnych katastrof naturalnych, a i tak odznaczały się mniejszą gwałtownością. Za przykład może posłużyć paleooceniśko-eoceniśkie maksimum termiczne, kiedy to zwiększona aktywność wulkaniczna skutkowałą emisją do atmosfery takiej ilości dwutlenku węgla, że temperatura uległa podwyższeniu o 5-8 stopni Celsjusza w ciągu 20 tysięcy lat. Spowodowało to proces wielkiego

wymierania gatunków żyjących na Ziemi. Dziś temperatury rosną w tempie +1 stopień Celsjusza na 150 lat. Czy oznacza to, że ludzkość oraz cały ekosystem planety zmierzają w kierunku kolejnego masowego wymierania? Niestety, nie można tego wykluczyć, choć istnieją sposoby, aby tego uniknąć.

Bogaty i kompletny zasób wiedzy na temat stanu ziemskiej atmosfery można znaleźć w poszczególnych raportach Międzyrządowego Panelu do spraw Zmiany Klimatu. Szczególnie istotne są Raporty Podsumowujące (*Assessment Reports - AR*), wydawane w sześcioletnich cyklach. Według najnowszego z nich, czyli AR6, średnia temperatura powierzchni Ziemi wzrosła w porównaniu z epoką przedprzemysłową (czyli do czasów przed 1850 rokiem) o 1,2 stopnia Celsjusza. Wielkość ta może wydawać się nieistotna, ale to tylko pozory. Żeby zobrazować skalę zagrożenia, wystarczy powiedzieć, że obniżenie średniej globalnej temperatury o 2 stopnie Celsjusza w ciągu XVI i XVII wieku spowodowało Małą Epokę Lodową. AR6 posługiwał się też wyjątkowo stanowczym – jak na dokument opracowany przez naukowców – językiem, mówiąc, że wiadomo ponad wszelką wątpliwość, iż to człowiek odpowiada za globalne ocieplenie, będące częścią obecnej zmiany klimatu. Autorzy raportu nie pozostawili nawet

niewielkiego miejsca na inne wytłumaczenia: świat nauki jest bowiem pewny antropogenicznej genezy tego potężnego problemu, który trawi ziemską atmosferę.

Stosunkowo łatwo wyjaśnić mechanizm zachodzących zmian. Gazy cieplarniane (czyli na przykład dwutlenek węgla oraz metan) tworzą w atmosferze coś w rodzaju gigantycznej kołdry. Kołdra – jak powszechnie wiadomo – nie emituje sama z siebie żadnej dodatkowej energii, ale sprawia, że leżącemu pod nią człowiekowi jest cieplej. Dzieje się tak dlatego, że okrycie przytrzymuje ciepło oddawane przez ludzkie ciało – dzięki temu porządna pierzyna jest w stanie zapewnić komfort termiczny nawet w chłodną noc. Podobna sytuacja zachodzi w ziemskiej atmosferze – gazy cieplarniane przytrzymują energię (w postaci promieniowania) dochodzącą do Ziemi ze Słońca, przez co średnia globalna temperatura ulega podwyższeniu. Co ważne, ludzie wyemitowali do atmosfery już tyle gazów cieplarnianych, że nawet odnotowana w ostatnich latach redukcja ilości docierającej do Ziemi energii słonecznej związana z regularnymi zmianami aktywności Słońca nie wyhamowała wzrostu światowych temperatur. Rosły one nadal – bo gazowa kołderka coraz skuteczniej przytrzymywała dochodzące z kosmosu promieniowanie słoneczne. Proces ten można – w pewnym

uproszczeniu – porównać także do mechanizmu działania szklarni. Do wnętrza takiego obiektu dochodzi tyle samo energii ze Słońca, co na przykład do pobliskiego trawnika. Ale w szklarni jest cieplej – wynika to z zatrzymania części tej energii przez szyby szklarni.

Warto zaznaczyć, że gwałtowną zmianę klimatu, której jesteśmy świadkami, charakteryzuje nie tylko wzrost średnich temperatur powierzchni Ziemi, inaczej globalne ocieplenie. To proces, którego efektem jest także rozstrojenie regularności i skali zjawisk atmosferycznych. Ze względu na zmieniający się klimat dynamiczne zjawiska pogodowe (burze, huragany, wichury itp.) staną się częstsze i silniejsze, podział roku na poszczególne pory zacznie się zamykać (na przykład w Polsce może zaniknąć przedwiośnie i wiosna, a rok będzie składał się z sezonów na wzór pory suchej i pory deszczowej), w wielu regionach wystąpią problemy hydrologiczne związane z niedostatkiem opadów deszczu i śniegu (co przełoży się na ograniczenie możliwości uprawy ziemi i hodowli zwierząt). Innymi słowy, konsekwencje antropogenicznej zmiany klimatu są daleko idące i w miarę dalszego postępowania tego procesu mogą naruszyć fundamenty światowego porządku.

Wspomniane wcześniej przykłady Rzymian, Majów i Polaków pokazywały, że dekompozycja cywilizacji

często zaczyna się od zaburzenia gospodarki żywnościowej, będącej podstawą funkcjonowania człowieka. Gdy susza, powódź lub gradobicie zmniejszają zbiory, w rozsiętych organizmach społecznych zaczyna narastać napięcie. Kiedy deficyt jest głęboki i zamiast wysokich cen żywności pojawia się niedobór pożywienia, wtedy potężne tąpnięcia wewnętrzne oraz otwarta wojna ubogich z bogatymi są nieuniknione. Dobry opis tego, co może się wydarzyć, przedstawił w artykule dla portalu The Hill amerykański łowca burz i naukowiec pracujący dla National Oceanic and Atmospheric Administration doktor Jeff Masters. Jego prognoza jest o tyle cenna, że opiera się na wydarzeniach, które już miały miejsce. Masters przeanalizował potencjalne skutki nałożenia się na siebie ekstremalnych zdarzeń pogodowych, które wystąpiły w nieodległej przeszłości. „Wyobraźmy sobie, że mocny El Niño* sprawia, iż odnotowujemy najcieplejszy styczeń w historii pomiarów. Susze uderzają w Australię, trzeciego największego eksportera pszenicy na świecie, powodując zmniejszenie plonów o 58%, tak jak to miało miejsce w 2002 roku. Ceny żywności na rynkach

* El Niño - zjawisko pogodowe i oceaniczne, w tym zmienny ciepły prąd morski pojawiający się we wschodniej części strefy równikowej Oceanu Spokojnego przy zmianie cyrkulacji pasatowej ze wschodniej na zachodnią.

międzynarodowych szybują w górę. Następnie, w kwietniu, rekordowe opady nawiedzają Kanadę, drugiego globalnego eksportera pszenicy, osłabiając zbiory o 14%, tak jak w 2010 roku (...). Latem ulewne deszcze przechodzą nad centralnymi stanami USA, zmniejszając produkcję kukurydzy o 4%, a pszenicy – o 25%, tak jak w 2017 roku (...). Z kolei w Azji Wschodniej mocny El Niño przynosi suszę, ograniczając opad monsunowy. 100 milionów ludzi znajduje się nagle bez dostępu do bieżącej wody (...). W Indiach o 23% kurczą się zbiory ryżu, tak jak w 2002. Kraj ten jest największym eksporterem ryżu na świecie (...). W połowie października huragan – podobny do huraganu Ida z 2021 roku – niszczy trzy z 15 największych portów Ameryki położonych w dole rzeki Missisipi, wstrzymując 60% eksportu amerykańskiego zboża. Staje też ruch na rzece, a przecież trwa szczyt sezonu eksportowego. Ekstremalne zjawiska pogodowe sprawiają, że ceny żywności wzrastają czterokrotnie. Zamieszki spowodowane brakiem dostępu do artykułów spożywczych wybuchają na Bliskim Wschodzie, w Ameryce Północnej i Południowej, główne rynki europejskie pogrążają się w kryzysie (...). W Afryce i Azji głód zabija prawie milion osób (...), narasta napięcie między Rosją i NATO, atomowe potęgi – Indie i Pakistan – rozpoczynają

potyczki graniczne o zasoby wody” – pisze Masters. Naukowiec zaznacza, że według raportu *Food System Shock*, opracowanego w 2015 roku przez zajmujący się ubezpieczeniami londyński bank Lloyds, ryzyko wystąpienia takiego splotu wydarzeń w ciągu następnych 40 lat wynosi 18%.

Ludzkość wciąż może uniknąć większości tych przykrych następstw, wyhamowując trwającą zmianę klimatu. Żeby było to możliwe, konieczna jest dekarbonizacja gospodarki, rozumiana jako odejście od surowców i paliw kopalnych do tego stopnia, aby emisje gazów cieplarnianych uległy redukcji do poziomu zero netto*. W polityce klimatycznej określa się taką sytuację mianem neutralności klimatycznej. Niezmiernie trudno będzie osiągnąć ją w całej gospodarce, ale są sektory, w których już teraz jest to możliwe. Jednym z nich jest energetyka.

* Całkowita redukcja emisji nie jest możliwa i przez to nie jest ona celem działań klimatycznych. Realne jest natomiast zmniejszenie emisyjności do takiego poziomu, w którym wprowadzane do atmosfery gazy cieplarniane będą w całości wychwytywane albo przez specjalne technologie pokroju Carbon Capture and Storage lub Carbon Capture and Utilization, albo przez nasadzenia roślin, które dwutlenku węgla potrzebują do życia i rozwoju. Warto zaznaczyć, że rozwiązania te można zastosować tylko w przypadku tego gazu cieplarnianego. Nie znaleźliśmy na razie sposobów na wyciąganie z atmosfery wyemitowanych do niej innych gazów cieplarnianych (na przykład metanu).

Człowiek dysponuje już praktycznie wszystkimi technologiami, które są potrzebne, aby zdekarbonizować systemy energetyczne. Wiele państw na świecie (jak Francja, Szwecja) cechuje się wytwarzaniem energii elektrycznej o bardzo niskim śladzie węglowym. Prowadzone są także szeroko zakrojone prace nad dekarbonizacją ciepłownictwa. Żeby ten proces postępował szybciej, konieczna jest jednak zmiana paradygmatu gospodarczego. Ekonomia, na której opiera się światowa wymiana handlowa, musi zacząć uwzględniać koszty klimatyczne poszczególnych działalności. Dotychczas ludzie traktowali atmosferę jako śmietnik – używali jej jako darmowego składowiska odpadów, jakim są produkty spalania. Był to swoisty kredyt zaciągnięty przez człowieka u natury, która zaczyna domagać się szybkiej spłaty.

Prace nad dostosowaniem globalnej gospodarki do wymogów współczesności już się toczą. Państwa odpowiedzialne za prawie 90% światowych emisji gazów cieplarnianych określiły swoje cele w zakresie neutralności klimatycznej. Transformacja w tym kierunku pochłania corocznie setki miliardów dolarów. Liderem wydatków na ten cel są Chiny*, które w 2022 roku przeznaczyły na

* Chińska Republika Ludowa prowadzi też w rankingu nakładów na bezemisyjny przemysł. W 2022 roku Pekin przeznaczył na

dostosowanie swojej gospodarki do rygorów dekarbonizacji 546 miliardów dolarów. To połowa światowych wydatków na transformację klimatyczną. Tym samym Państwo Środka przeznaczyło na redukcję emisji więcej niż USA i kraje UE razem wzięte. „Klimatyczne wydatki” USA wyniosły w 2022 roku 141 miliardów dolarów, a krajów UE – 180 miliardów dolarów. Najbliższe lata przyniosą istotne zwiększenie tych nakładów z uwagi na wdrażanie takich programów jak europejski Fit for 55 czy amerykański Inflation Reduction Act.

ten cel około 71 mld dolarów. To 90% światowych wydatków na czystą produkcję przemysłową. Chiny są również światowym liderem w instalowaniu mocy w energetyce jądrowej i odnawialnej. Działa tam obecnie 55 reaktorów jądrowych o mocy 53 GW. Do 2060 roku państwo to chce postawić kolejne 400 GW mocy w atomie, czyli tyle, ile jest obecnie na świecie. Z kolei tylko w 2022 roku Chiny zainstalowały 152 GW mocy w OZE, co sprawiło, że w ubiegłym roku stanowiły one około 75% nowych chińskich mocy w energetyce. Państwo Środka to niestety także lider energetyki węglowej (ponad 1000 GW mocy w węglu), a Pekin wciąż planuje nowe elektrownie, z tym że jednostki spalające węgiel w Chinach buduje się głównie do celów repoweringu, to znaczy zastępują one starsze elektrownie węglowe, które są z kolei zamykane. Dlatego też procentowy udział węgla w chińskim miksie zmniejszył się w ostatnich 12 latach o 10 punktów procentowych (z 68% do 58%). Według planów Pekinu Chiny mają do 2060 roku osiągnąć neutralność klimatyczną. Redukcja emisji ma się rozpocząć w roku 2030, kiedy udział bezemisyjnych mocy w chińskim miksie sięgnie 50%. W tym celu w 2021 roku chińskie władze wprowadziły własny system handlu emisjami, wzorowany na europejskim.

Trzeba wspomnieć, że polityka klimatyczna to nie tylko koszty i wydatki, ale przede wszystkim polityka gospodarcza zakładająca utrzymanie możliwości rozwoju ekonomicznego przy minimalizacji jego ciężaru klimatycznego. Mówiąc prościej, chodzi o to, żeby możliwy był dalszy rozwój, ale już bez szkody dla klimatu. Należy zdawać sobie sprawę, że takie urządzenie gospodarki jest jak wytyczenie zupełnie nowego pola bitwy, na którym nie sprawdza się dotychczasowa broń w postaci przewag konkurencyjnych osiąganych dzięki tanim, ale emisyjnym sposobom produkcji. Wręcz przeciwnie: tworzony właśnie nowy paradygmat gospodarczy opiera się na zasadzie „kto emituje, ten płaci”. I dalej: kto emituje dużo, płaci dużo. Kto dysponuje gospodarką nisko- i zeroemisyjną, będzie miał możliwości ekspansji handlowej. Zręby tego paradygmatu widać szczególnie dobrze po opracowywanym przez UE pakiecie Fit for 55, który zakłada wprowadzenie mechanizmów takich jak mechanizm cła węglowego (*Carbon Border Adjustment Mechanism* – CBAM). CBAM to dodatkowy ciężar finansowy, który będzie nakładany na wprowadzane na rynek unijny towary pochodzące z państw trzecich. Wysokość tego cła będzie zależec od intensywności emisji kraju pochodzenia – im więcej gazów cieplarnianych powstało przy

produkcji danego dobra, tym wyższa będzie opłata w ramach CBAM*. Instrument ten szczególnie mocno uderza w gospodarkę chińską i amerykańską. Nic więc dziwnego, że zarówno Pekin, jak i Waszyngton z jednej strony rozpoczęły poważne negocjacje z Brukselą, chcąc chronić swoje możliwości eksportowe, a z drugiej – przyspieszyły swoje własne transformacje w kierunku zmniejszenia emisyjności. CBAM pokazuje, że odpowiednio duża gospodarka może za pomocą swojej własnej polityki klimatycznej wpływać na dekarbonizację państw trzecich. Swobodną odpowiedzią Chin na propozycję unijnego CBAM było wprowadzenie we wrześniu 2021 roku chińskiego systemu handlu emisjami, wzorowanego na europejskim EU ETS. Tego typu mechanizmy pozwalają – za pomocą metod *quasi-rynkowych* – zauważyć koszty emisji w rachunku ekonomicznym poprzez odpowiednią wycenę uprawnienia do wyemitowania określonej ilości gazów cieplarnianych. Podmioty emisyjne są więc dociążane finansowo paropodatkami, a państwo, które sprzedaje

* Jak argumentuje Bruksela, CBAM nie tylko uniemożliwi ucieczkę przemysłu emisyjnego poza UE, ale też ochroni przedsiębiorców unijnych, którzy produkują swoje towary przy zachowaniu standardów ochrony klimatu, przed konkurencją ze strony firm ulokowanych w państwach znacznie łagodniej podchodzących do dekarbonizacji.

uprawnienia do emisji, pozyskuje dzięki temu środki do prowadzenia polityki klimatycznej. Z kolei USA zareagowały na unijne zacieśnianie polityki klimatycznej ustawą Inflation Reduction Act (IRA). Wprowadzała ona między innymi pakiet zachęt w formie dopłat i ulg do inwestycji w bezemisyjne źródła energii, elektromobilność i elektryfikację systemów grzewczych. Szacuje się, że całkowite wydatki na cele klimatyczne związane z realizacją postanowień IRA sięgną nawet 1,2 biliona dolarów.

Jak widać, polityka klimatyczna to nie tylko dążenie do redukcji emisji - to także zaciekła gra gospodarcza, w której gracze starają się zyskać przewagę pod względem konkurencyjności i stworzyć dla siebie większe możliwości ekonomiczne w tworzonych przez dekarbonizację ramach. Bezemisyjna energetyka będzie odgrywać w tej rywalizacji kluczową, trudną do przecenienia rolę. Dla przykładu: obecnie w Polsce wygenerowanie 1 kWh wiąże się ze średnią emisją około 750 gramów CO₂ do atmosfery. Tymczasem we Francji średnia intensywność emisji z elektroenergetyki to 58 gramów CO₂ na 1 kWh. Oznacza to, że francuski sektor elektroenergetyczny jest prawie 13 razy mniej emisyjny od polskiego, chociaż produkuje ten sam towar, czyli kilowatogodziny energii elektrycznej. Francuzi płacą zatem znacznie mniej za uprawnienia

do emisji - nie muszą przejmować się wahaniami ich cen. Co innego Polacy: w Polsce nagłe podwyższenie notowań uprawnień do emisji wymusiło wprowadzenie rządowych systemów wsparcia dla odbiorców indywidualnych energii elektrycznej. Jak się okazało, wytwarzanie elektryczności z węgla jest bardzo kosztowne. Można zatem iść o krok dalej w tym porównaniu i zastanowić się, jaki wpływ na polską gospodarkę będzie miał dalszy wzrost cen uprawnień do emisji.

ZAKOŃCZENIE

Jeszcze do niedawna wiedza energetyczna w Polsce była na bardzo niskim poziomie. Polki i Polacy nie wiedzieli, ile energii zużywają, ile kosztuje 1 kWh, skąd ta energia się bierze. Wynikało to przede wszystkim z tego, że polska świadomość kulturowo-historyczna pozbawiona była doświadczenia formacyjnego w postaci kryzysu energetycznego z lat 1973–1979. Restrykcje państw arabskich na dostawy ropy nie dotknęły wtedy PRL – wręcz przeciwnie, dekada lat 70. XX wieku była – jak dotąd – czasem najbardziej dynamicznego rozwoju polskiej energetyki; rządząca wtedy ekipa Edwarda Gierka starała się nasycić polską

gospodarkę nowymi mocami, żeby dać grunt pod rozwój przemysłu ciężkiego. Z tego też względu nie zrodziły się w Polsce – w taki sposób jak to się stało na Zachodzie – trendy w myśleniu o energii jako czymś skończonym, limitowanym i podlegającym określonym prawom rynku i polityki. Nie wykształciły się także w Polsce ruchy nawołujące do transformacji energetycznej oraz odwrotu od paliw kopalnych (co jest efektem uniknięcia nie tylko kryzysów energetycznych sprzed 50 lat, ale także rewolucji społecznych z końcówki lat 60.). Wszystkie wymienione elementy odpowiadające za takie, a nie inne tempo transformacji w krajach zachodnich dotarły nad Wisłę stosunkowo niedawno: wątki związane z ekologią pojawiły się po 1989 roku, natomiast pierwszy poważny kryzys energetyczny polskie społeczeństwo przeszło dopiero w roku 2022, w wyniku pełnoskalowej rosyjskiej agresji na Ukrainę.

Co więcej, przez ten czas polskie elity polityczne wyrzekły się roli edukacyjno-formacyjnej w sferze energetyki. Żaden rząd, który sprawował władzę po 1989 roku (poza rządem Jerzego Buzka), nie miał dość woli politycznej ani nie przejawiał myślenia strategicznego, aby do sektora energetycznego podejść aktywnie, a nie reaktywnie. Trzeba natomiast podkreślić, że zadziałał mechanizm

błędnego koła: politycy podejmują zdecydowane kroki praktycznie wyłącznie wtedy, kiedy społeczeństwo lub sytuacja międzynarodowa wywrze na nich presję. Tymczasem presji ze strony społeczeństwa nie będzie dopóty, dopóki nie będzie świadomości dotyczącej problemów, które należy rozwiązać. Nie jest przypadkiem to, że w Polsce poważny program walki ze smogiem pojawił się dopiero wtedy, gdy Polki i Polacy zyskali dostęp do wiedzy na temat jakości powietrza za pomocą aplikacji na smartfony – dopiero kiedy pojawiła się świadomość dotycząca tego, co zawiera polskie powietrze.

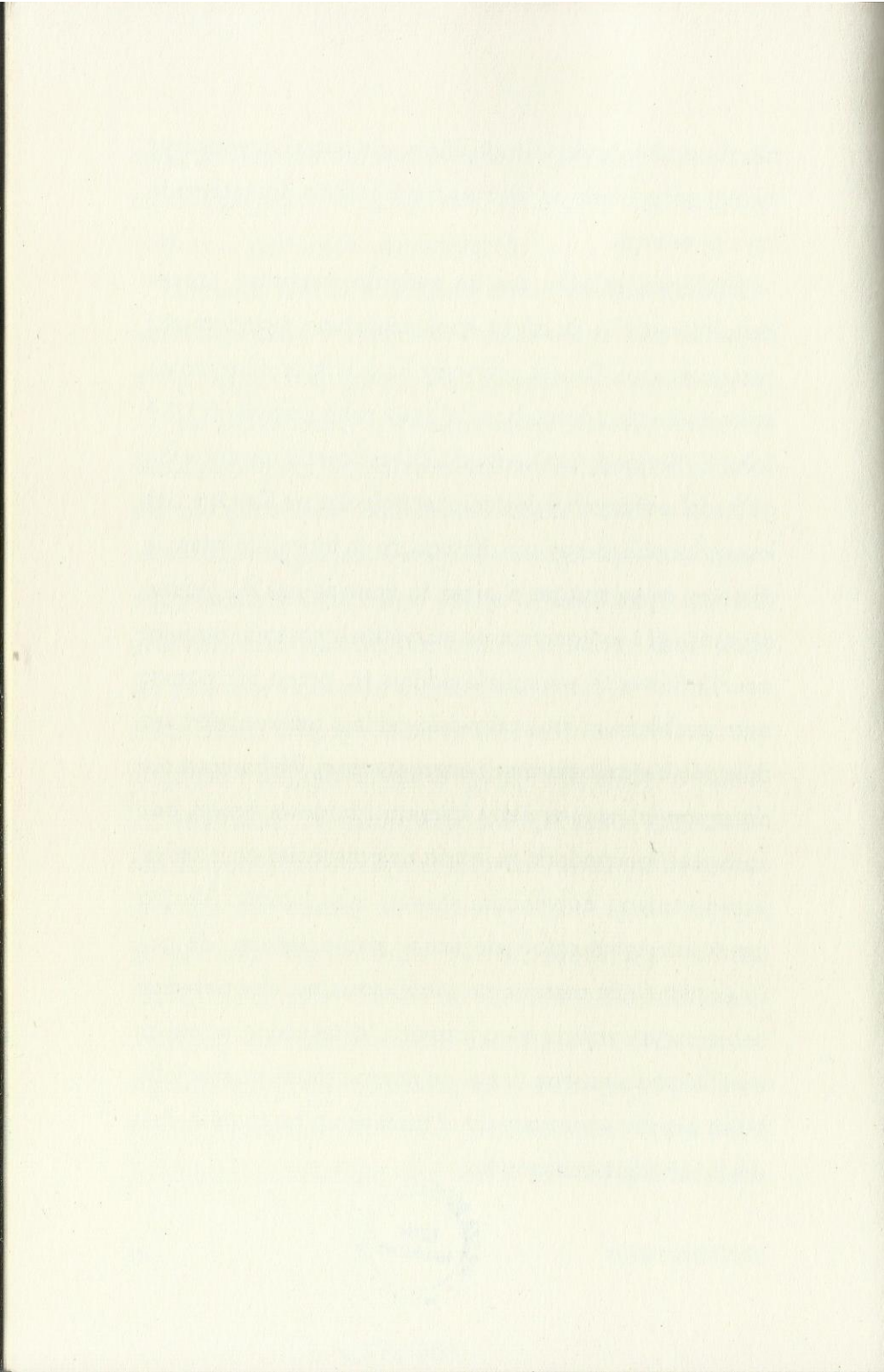
Taka, a nie inna historia myślenia o energetyce sprawiła, że Polska – od wspomnianych wyżej czasów Edwarda Gierka – nie prowadziła transformacji energetycznej. Dominująca w tym sektorze monokultura węglowa praktycznie ani drgnęła przez ostatnie 50 lat. To wszystko zaczęło zmieniać się niedawno, kiedy po 2019 roku w Unii Europejskiej pojawiły się tendencje, które można etykietować hasłowo jako: Europejski Zielony Ład, pakiet Fit for 55 oraz dążenie do neutralności klimatycznej. Jednakże utrzymujący się przez lata brak działań spowodował narastanie ogromnych zaległości. Nie są one możliwe do nadrobienia w prosty i szybki sposób. Walka z nimi wymaga przemyślanych i dobrze zaplanowanych działań, które

będą konsekwentnie realizowane, a i tak najpewniej odbije się negatywnie na sytuacji wielu grup społecznych, zwłaszcza zaś – osób najuboższych.

Niemniej jednak absolutnie konieczne jest podejmowanie wysiłków w tym celu. Przede wszystkim dlatego, że Polska nie ma wyboru. Jej system elektroenergetyczny jest przestarzały i wymaga zmian tak czy siak. Pozostawanie przy jego dotychczasowym kształcie będzie jedynie generować dodatkowe koszty i obniżyć bezpieczeństwo energetyczne kraju. Natomiast wyboru nie ma także reszta świata, która – chcąc uchronić się przed zagrożeniami związanymi ze zmianą klimatu – musi podjąć podobne działania transformacyjne. Ale w tym wyścigu są już liderzy – liderzy, których trzeba starać się dogonić. I tu pojawia się drugi powód: każdy problem to też szansa. Transformacja energetyczna wytyczana ramami polityki klimatycznej to dla Polski problem, który może być szansą na budowę jeszcze sprawniejszej gospodarki. Wytwarzanie baterii, produkcja wodoru, rozwój łańcuchów dostaw do technologii źródeł odnawialnych – w tych sektorach działające w Polsce przedsiębiorstwa już teraz odnoszą wielkie sukcesy. Może być ich jeszcze więcej. Potrzeba jedynie zmian, które położą stabilny fundament pod dalszy rozwój, nikt bowiem

nie zbuduje fabryki w kraju, który nie potrafi wyposażyć swojej gospodarki w wystarczająco dużo dostatecznie czystej energii.

Niniejsza książka ma za zadanie wesprzeć proces kształtowania w polskim społeczeństwie świadomości energetycznej. To jest pierwszy krok w kierunku zmian, które są bardzo potrzebne. W 1962 roku prezydent USA John F. Kennedy powiedział: „Zdecydowaliśmy się w ciągu nadchodzących dziesięciu lat polecieć na Księżyc i dokonać innych rzeczy nie dlatego, że są łatwe, ale właśnie dlatego, że są trudne, a przez to zmuszą nas do lepszej organizacji i wykorzystania wszystkich naszych umiejętności”. Słowa te wspaniale oddają to, przed jak ogromnym problemem stoi człowiek; oddają też kontekst trudów polskiej transformacji energetycznej. Wyhamowanie antropogenicznej zmiany klimatu i budowa nowej, bezemisyjnej gospodarki to może najpoważniejsze z zadań, przed którymi dotychczas stawała rasa ludzka. Ale jednocześnie tylko człowiek jest w stanie zaprząć do pracy potężne siły materialne i intelektualne, aby poradzić sobie z wyzwaniem tego formatu. W tej walce, w swoim wysiłku ludzie mogą liczyć na pomoc starej przyjaciółki, która nie raz wyciągała ich z niemałych tarapatów. Jest nią oczywiście energetyka.



PODZIĘKOWANIA

Książka ta nie powstałaby, gdyby nie kilkoro wspaniałych ludzi, jakich miałem okazję spotkać na mojej drodze. Dziękuję przede wszystkim mojej Żonie Magdzie za wyrozumiałość, której bardzo potrzebowałem, kiedy zarywałem kolejne noce, czytając artykuły naukowe o wydobywaniu węgla w Anglii lub dokumenty projektu Manhattan. Dziękuję także najbliższej rodzinie: Rodzicom, Matce chrzestnej i Bratu, bo bez ich wsparcia poddałbym się już na etapie projektowania niniejszej publikacji.

Książka ta nie powstałaby także bez wsparcia Piotra Małeckiego, który zawodowo jest prezesem Grupy

Defence, gdzie mam przyjemność pracować, a prywatnie dobrym i porządnym człowiekiem.

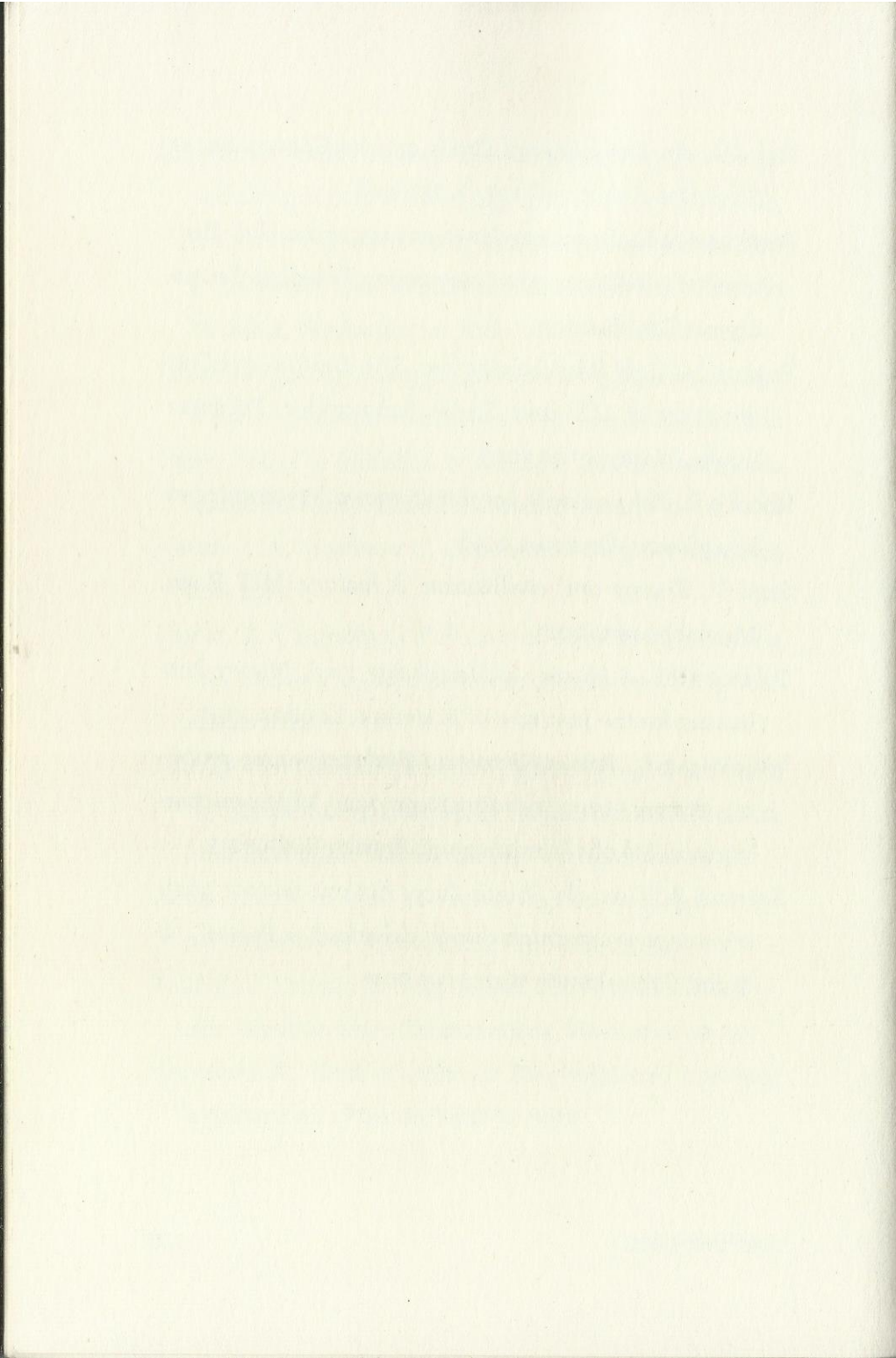
Dziękuję także Mecenasom mojego podcastu „Elektryfikacja”, którego wydawanie stało się dla mnie w pewnym momencie dopełnieniem pracy nad tą książką: panu Pysiowi, panu Norbertowi, panu doktorowi Michałowi Godlewskiemu, panu Filipowi Rembiałkowskiemu, Górzny Group oraz Agencji Marketingowej Nie Na Raz.

BIBLIOGRAFIA

- Adamson D., *A Coal Mine in the Sea: Culross and the Moat Pit*, Edinburgh University Press, Edinburgh 2008
- Bowen H.V., *The shipping losses of the British East India Company, 1750-1813*, „International Journal of Maritime History”, 2020, t. 32, nr 2
- Clark G., Jacks D., *Coal and the Industrial Revolution, 1700-1869*, Oxford University Press, Oxford 2007
- Cooper A.S., *The Oil Kings: How the U.S., Iran, and Saudi Arabia Changed the Balance of Power in the Middle East*, Simon & Schuster, New York 2011

- Czachor R., *Polityczne uwarunkowania budowy gazociągu północnego: polityka energetyczna Federacji Rosyjskiej a solidarność europejska*, w: *Badania wschodnie. Polityka wewnętrzna i międzynarodowa*, red. Z.J. Winnicki, W. Baluk, Wydawnictwo Arboretum, Wrocław 2009
- Frużyński A., *Zarys dziejów górnictwa węgla kamiennego w Polsce*, Muzeum Górnictwa Węglowego, Zabrze 2012
- Grove J.M., *The Initiation of the Little Ice Age in Regions Round the North Atlantic*, „Climatic Change” 2001, nr 48
- Hazen R.M., *Symfonia C*, Copernicus Center Press, Kraków 2022
- Ilnicki T., *Czarnobyl i Fukushima. Przyczyny, przebieg i konsekwencje*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2022
- Jakli Z., *Vom Marshallplan zum Kohlepfennig: Grundrisse der Subventionspolitik in der Bundesrepublik Deutschland 1948-1982*, Westdeutscher Verlag, Bonn 1990
- Jaros J., *Zarys dziejów górnictwa węglowego*, Śląski Instytut Naukowy w Katowicach, Katowice 1975
- Kaliński J., Landau Z., *Gospodarka Polski w XX wieku*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2003
- Krajewski A., *Krew cywilizacji. Biografia ropy naftowej*, Wydawnictwo Mando, Kraków 2018

- Nef J.U., *An Early Energy Crisis and its Consequences*,
„Scientific American” 1977, t. 237, nr 5
- Paszkiwicz E., *Bezpieczeństwo energetyczne Unii Europejskiej w sektorze gazu ziemnego*, „Przegląd Geopolityczny” 2018, nr 23
- Polmar N., *Cold War Submarines, The Design and Construction of U.S. and Soviet Submarines*, Potomac Books, Waszyngton 2003
- Rhodes R., *Jak powstała bomba atomowa*, Wydawnictwo Marginesy, Warszawa 2021
- Smil V., *Energy and civilization. A history*, MIT Press, Massachusetts 2017
- Tylecote R.F., *A History of Metallurgy*, 2 ed., Maney Publishing for the Institute of Materials, London 1992
- Wojcieszak Ł., *Polska, Ukraina i Białoruś wobec problemu dostaw i tranzytu rosyjskiego gazu*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Administracji, Bielsko-Biała 2013
- Zawisza A., *Gaz dla Polski. Zarys historii sektora gazu ziemnego w ostatnich dwóch dekadach w Polsce*, Instytut Sobieskiego, Warszawa 2011



ŹRÓDŁA ILUSTRACJI

- s. 57 B.L. Singley, Keystone View Co., domena publiczna, Wikimedia Commons
- s. 64 Royal Commission of Inquiry into Children's Employment, domena publiczna, Wikimedia Commons
- s. 97 Melvin A. Miller of the Argonne National Laboratory, domena publiczna, Wikimedia Commons
- s. 117 https://classiccars.fandom.com/wiki/Ford_Nucleon, domena publiczna, Wikimedia Commons
- s. 124 © Yann Forget, CC-BY-SA, Wikimedia Commons

- s. 166 autor nieznany, pocztówka, rok 1881, the original uploader was Silar at English Wikipedia, domena publiczna, Wikimedia Commons
- s. 183 David Falconer/National Archives, Records of the Environmental Protection Agency, domena publiczna, Wikimedia Commons
- s. 189 Leffler, Warren K., domena publiczna, Wikimedia Commons
- s. 222 Radosław Drożdżewski, CC BY-SA 4.0, Wikimedia Commons
- s. 243 AleSpa, CC BY-SA 3.0, Wikimedia Commons
- s. 271 U.S. Department of Agriculture, domena publiczna, Wikimedia Commons

SPIS TREŚCI

WSTĘP – ENERGIA, CZYLI WSZYSTKO	7
CZYM JEST ENERGIA	10
WĘGIEL	23
ATOM	85
ROPA NAFTOWA	161
GAZ ZIEMNY	199
ŹRÓDŁA ODNAWIALNE	227
ENERGIA WIATRU	229
ENERGIA SŁOŃCA	238
ENERGIA WODY I ENERGIA GEOTERMALNA	248

BIOENERGIA	262
JAK DZIAŁA SYSTEM ENERGETYCZNY	267
SYSTEM ELEKTROENERGETYCZNY	268
DOSTAWY SUROWCÓW	279
SYSTEM CIEPŁOWNICZY	280
TRANSFORMACJA	283
ZAKOŃCZENIE	301
PODZIĘKOWANIA	307
BIBLIOGRAFIA	309
ŹRÓDŁA ILUSTRACJI	313

Projekt okładki
Magda Kuc

Zdjęcie na okładce
Ewa Płonka

Redaktor inicjujący
Adam Gutkowski

Redaktorzy prowadzący
Marta Brzezińska-Waleszczyk
Adam Gutkowski

Opieka redakcyjna
Katarzyna Mach

Adiustacja
Barbara Wójcik

Korekta
Barbara Gąsiorowska

Łamanie
Adam Gutkowski | goodkowskydesign.com

Copyright © by Defence24 Sp. z o.o.
© Copyright for this edition by SIW Znak sp. z o.o., 2023

ISBN 978-83-240-6775-6

znak

Książki z dobrej strony: www.znak.com.pl

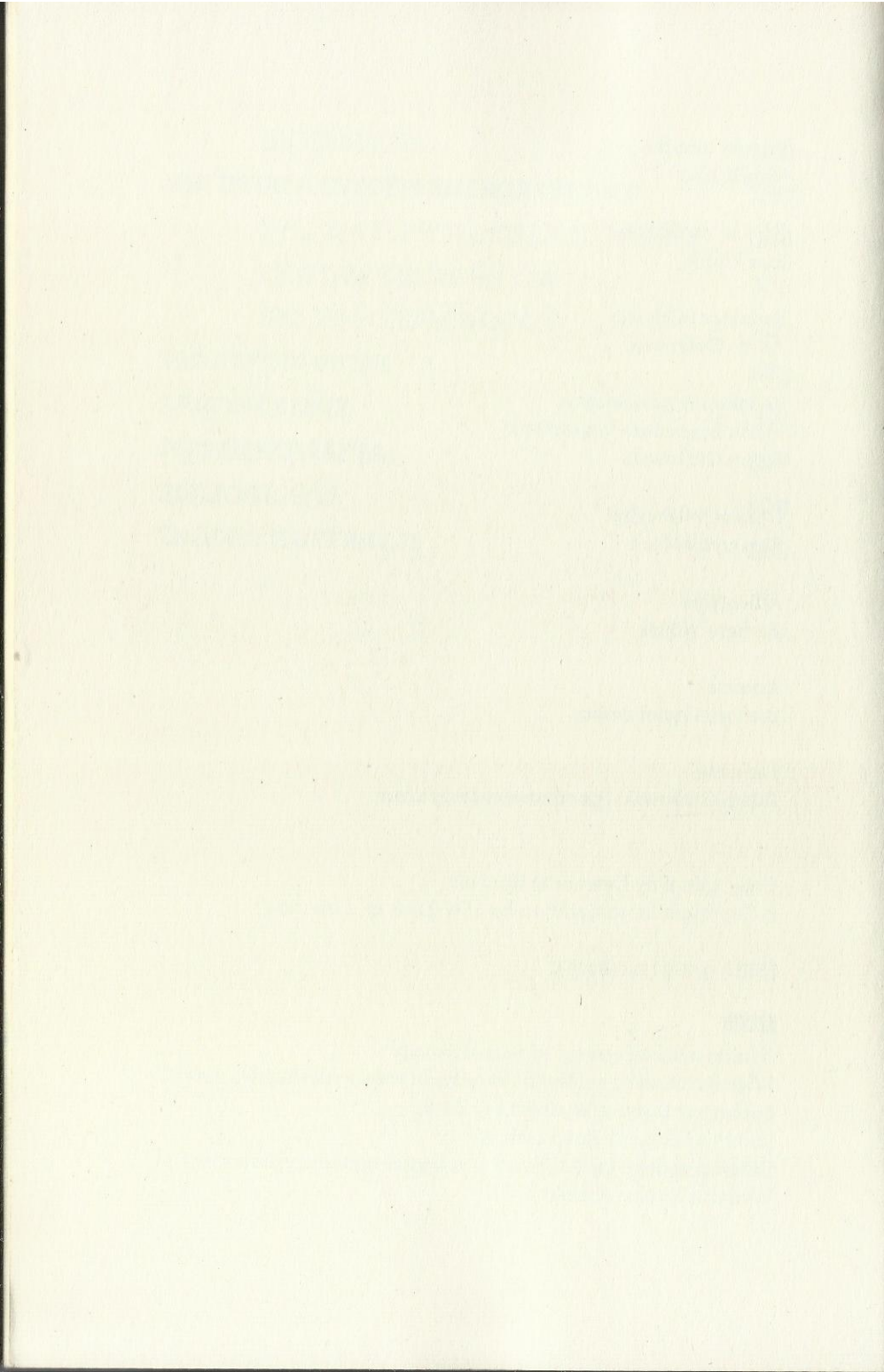
Więcej o naszych autorach i książkach: www.wydawnictwoznak.pl

Spółeczny Instytut Wydawniczy Znak,

30-105 Kraków, ul. Kościuszki 37

Dział sprzedaży: tel. (12) 61 99 569, e-mail: czytelnicy@znak.com.pl

Wydanie I, 2023. Printed in EU





E-book dostępny na

woblink.com

Przeczytaj, co o książce sądzą inni czytelnicy, i oceń ją na
lubimyczytać.pl



Które odnawialne źródła energii mają przyszłość i czemu wciąż budzą kontrowersje?

Ile gazu zużywa się w naszym kraju i na co się go przeznacza?

Gdzie wydobywa się ropę naftową, która służy do produkcji paliw spalanych w silnikach naszych samochodów?

Co zrobić, by Polska mogła przejść skuteczną transformację energetyczną i co ona oznacza?

PIERWSZA KSIĄŻKA, KTÓRA TAK PROSTO OPOWIADA O ENERGETYCE

Rosnące ceny paliw, prądu i gazu. Pojawiające się w mediach społecznościowych informacje o zagrożeniu wysadzeniem elektrowni atomowych w Ukrainie.

Sejmowe przepychanki wokół wydobywania polskiego węgla i instalacji w naszym kraju źródeł energii odnawialnej.

Dlaczego temat energetyki budzi tyle emocji?

I czy nie dałoby się opowiedzieć o niej jakoś prościej?

Jakub Wiech, redaktor naczelny portalu Energetyka24.com i autor niezwykle popularnego konta na Instagramie **@wiechography**, odpowiada na pytania, które wszyscy sobie zadajemy.

Dlaczego musimy płacić coraz wyższe rachunki?

Czy powinniśmy bać się energii jądrowej?

Co tracimy, nie dostosowując się do europejskich standardów emisji?

Dlaczego decyzje polityków tak mocno odbijają się na naszych portfelach i co trzeba zrobić, żeby uniknąć ich konsekwencji?

Niewiele osób nad Wisłą potrafi lepiej pisać (i mówić) o energetyce niż Jakub Wiech. I choć temat wydaje się trudny, nudny i niszowy, zapewniam, że taki nie jest.

Tomasz Rożek