



Kolegium redakcyjne: inż. Eugeniusz Głowacki, dr inż. Artur Jasiński, mgr inż. Edward Magiera, mgr inż. Antoni Pietraszek, mgr inż. Ludwik Pinko (redaktor naczelny), mgr inż. Katarzyna Lukoszek

Rok 2020 (LXIII)

Nr 2 (273)

Tomasz Słupik

„ENERGOPOMIAR” Sp. z o.o., Zakład Techniki Ciepłej

Europejski Zielony Ład – merytoryczne podstawy neutralności klimatycznej w aspekcie gospodarki surowcowej

European Green Deal – a substantive basis for climate neutrality in terms of raw material management

Europejski Zielony Ład zakłada osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 roku. Na temat tego zagadnienia oraz mechanizmów prowadzących do osiągnięcia wspomnianego celu wiele się mówi, jednakże prawie wcale nie wspomina się o metodach monitorowania postępów i ocenie poszczególnych technologii na etapie budowania wspomnianego nowego zielonego porządku. Warto zatem poświęcić trochę czasu na zastanowienie się i przegląd aspektów związanych z dążeniem do osiągnięcia celu neutralności klimatycznej. Cel w tym przypadku można definiować jako pewnego rodzaju stan wyidealizowany, do którego dążenie jest obowiązkiem naszych czasów wobec przyszłych pokoleń. Taka optyka wymusza jednak stosowanie narzędzi inżynierskich, które pozwolą na kompleksowe ujęcie podejmowanych aktywności w kontekście oceny wpływu danej technologii i produktu na środowisko naturalne. Z racji rozległości zagadnień nieodłącznie związanych z różnego typu aktywnościami gospodarczymi w artykule skupiono się jedynie na wąskim, aczkolwiek kluczowym dla całej gospodarki, obszarze wytwarzania/przetwarzania energii.

Słowa kluczowe: Europejski Zielony Ład, neutralność klimatyczna, egzergia, koszt termoeologiczny, Life Cycle Assessment, koszty środowiskowe osierocone, elektroprosumeryzm, gospodarka surowcowa

The European Green Deal assumes the achievement of climate neutrality by 2050. There is much talk now about this issue and mechanisms leading to this goal but next to nothing is mentioned about methods of progress monitoring and assessment of particular technologies at the stage of implementing the new green deal. Therefore, it is worth devoting some time to consider and review issues related to the pursuit of the goal, i.e.: climate neutrality. The goal in this case may be defined as a kind of idealized state, which we should strive to achieve as it is our duty to future generations. Yet, this approach forces the application of engineering tools to allow complex estimation of activities undertaken in relation to the assessment of the impact of the specific technology and product on the natural environment. Due to a great diversity of aspects inextricably linked with various types of economic activity, the paper focuses only on a narrow concern, i.e.: energy generation/processing, which is, however, vital to the whole economy.

Keywords: European Green Deal, climate neutrality, exergy, thermo-ecological cost, Life Cycle Assessment, environmental cost, electroprosumerism, raw material management

Europejski Zielony Ład, neutralność klimatyczna czy gospodarka o obiegu zamkniętym to pojęcia ściśle ze sobą powiązane i w ostatnim czasie odnawiane przez wszystkie przypadki. Na oficjalnych stronach internetowych Komisji Europejskiej dotyczących Europejskiego Zielonego Ładu [1] na pierwszym planie znajduje się cel dla Unii – „Aspirowanie do miana pierwszego kontynentu neutralnego dla klimatu”. Warto się zastanowić czy

kierunek ten w horyzoncie 30 lat jest możliwy do osiągnięcia i w jakim zakresie realne będzie zbliżenie się do niego, a także jak wpłynie to na zasoby naturalne surowców nieenergetycznych. Tak nakreślony cel zakłada odejście od gospodarki liniowej polegającej na niemal proporcjonalnym budowaniu wzrostu gospodarczego w oparciu o zasoby naturalne nieodnawialne. Praktycznie wszystkie aktywności gospodarcze są ukierunkowane

na to podejście, a obszar „czystej energii” jest ulubionym i jednym z silniej akcentowanych przez aktywistów ekologicznych. Dalece niewystarczające naświetlanie podstaw merytorycznych tłumaczących konieczność wprowadzania Zielonego Ładu budzi sprzeciw jednych środowisk, a w innych buduje stan entuzjazmu, wynikający ze złudnego poczucia niezależności energetycznej i rychłego uwolnienia się od konieczności korzystania z surowców naturalnych.

W ramach niniejszego artykułu, z uwagi na rozległość tematu, dyskusji zostaną poddane niektóre aspekty istotne dla osiągnięcia wymienionego celu w obszarze wytwarzania/przetwarzania energii, czyli w jednym z kluczowych sektorów gospodarki, silnie oddziałującym na inne gałęzie przemysłu.

Europejski Zielony Ład – podstawy merytoryczne

Powszechnie obowiązujący do tej pory model gospodarki liniowej opierał się na budowie wzrostu gospodarczego powiązanego z wykorzystywaniem surowców naturalnych nieodnawialnych. Osiągnięcie poziomu neutralności klimatycznej wymusza stopniowe odchodzenie od takiego modelu i wdrożenie gospodarki cyrkularnej. Porzucając na chwilę, na potrzeby podjętych analiz, powszechną potrzebę wzrostu gospodarczego, który jest nieodłącznie powiązany z szeroko pojętym wzrostem konsumpcji, do osiągnięcia celu neutralności klimatycznej potrzeba jeszcze taniej i powszechnie dostępnej energii oraz wysoce sprawnych (a w zasadzie idealnych) procesów recyklingu (mając na względzie szacunki na temat dostępności surowców krytycznych dla transformacji energetycznej). Praktyka inżynierska pokazuje jednak, że procesy rzeczywiste różnią się znacząco od tych idealnych, a więc ich sprawności (procesowe, energetyczne i egzergetyczne) wynoszą poniżej 100%, co daje już na wstępie odpowiedź na temat możliwości osiągnięcia neutralności klimatycznej przez Europę w horyzoncie 2050 roku, przy założeniu liczebności mieszkańców i poziomu życia jak obecnie. Powyższe stwierdzenie nie oznacza jednak, że do wyżej wymienionego celu nie możemy i nie powinniśmy się zbliżyć. Za taką potrzebą przemawiają scenariusze zmian klimatycznych, jakie nas czekają [22]. Podejmowane działania powinny jednak uwzględniać również gospodarkę innymi surowca-

mi, niezbędnymi do przeprowadzenia transformacji energetycznej i funkcjonowania przyszłych pokoleń.

Tabela 1 przedstawia zasoby i rezerwy niektórych pierwiastków naturalnych wykorzystywanych powszechnie w produkcji przemysłowej.

Obecnie często niestudnie zakłada się, że neutralność klimatyczną można osiągnąć wyłącznie poprzez uniezależnienie się od kopalnych surowców energetycznych i idącą za tym „zerową” emisją CO₂ dla produkcji/konwersji energii. Postęp technologiczny wymagany do zmniejszenia zależności od surowców kopalnych w obszarze wytwarzania energii wymagać będzie innowacji technologicznych (choćby w obszarze magazynowania energii), a te najczęściej pociągają za sobą konieczność stosowania materiałów o określonych właściwościach (wykorzystujących także tzw. metale ziem rzadkich), co w praktyce nadal będzie budować silne powiązania w zakresie czerpania surowców nieenergetycznych ze środowiska naturalnego, jeżeli nie w Europie, to w innych częściach świata. Naganne jest natomiast stwierdzenie, niestety często spotykane, że można budować neutralność klimatyczną Europy bazując na produktach z Chin, dzięki czemu w Europie nie będzie emisji CO₂ i innych szkodliwych dla środowiska oddziaływań.

Mimo wyżej przytoczonych argumentów neutralność klimatyczna w obszarze surowców energetycznych nieodnawialnych w dużym stopniu będzie możliwa do osiągnięcia, jednak możliwy do osiągnięcia poziom będzie silnie powiązany z gospodarką surowcową, a uściślając, z koniecznością zrównoważonego czerpania surowców nieenergetycznych.

Kierunek nastawiony na uniezależnienie się od kopalnych surowców energetycznych jest co do zasady słuszny, ale argumentacja przedstawiana w sferze publicznej przy jego wprowadzaniu jest dalece niewystarczająca i często poddana zbyt dużym naciskom ze strony poszczególnych państw członkowskich Unii Europejskiej (UE). Na tym etapie należy również stwierdzić, że działania UE w zakresie wdrażania narzędzi i metod monitorowania postępu w zbliżaniu się do zasad gospodarki cyrkularnej są mocno opóźnione. Narzędzia do wypracowania podejścia ujmującego jak dana technologia wytwarzania określonego produktu i sam produkt w cyklu życia oddziałują na środowisko są znane od dawna, co nie jest równoznaczne z tym, że łatwo je będzie wprowadzić do powszechnego stosowania.

Tabela 1

Zasoby i rezerwy wybranych pierwiastków w odniesieniu do rocznej produkcji

Pierwiastek	Produkcja Mt/rok	Rezerwy		Zasoby		Przykładowe zastosowanie
		Mt	lata	Mt	lata	
Li	0,034	13	382	30	882	baterie, akumulatory EV, smary, ceramika
Co	0,098	7,5	77	15	153	baterie, akumulatory EV
Y	0,0089	0,54	61	odpowiednie		ceramika, elektronika (turbiny wiatrowe)
Cu	16,1	690	43	3000	186	budownictwo, elektronika, transport
Zr	1,41	52	37	60	43	odlewnictwo, stopy metali, ceramika
Mo	0,25	10	40	14	56	produkcja żelaza i stali, nadstopy
Sb	0,169	1,8	11	b.d.	b.d.	baterie, chemikalia, ceramika, szkło
Sr	0,38	6,8	18	1000	2632	ferytowe magnesy ceramiczne, pigmenty
Au	0,0027	0,051	19	b.d.	b.d.	biżuteria, sztuka, stomatologia, elektronika
Pb	4,5	85	19	1500	333	baterie, amunicja, szkło i ceramika
Sn	0,253	4,8	19	odpowiednie		powlekanie metali, stopów, szklarstwo

Źródło: opracowanie własne na podstawie [16]

Metody bazujące na wskaźnikach skumulowanego zużycia [2], rachunku egzergetycznym (koszcie termoeologicznym) [3] czy analizie cyklu życia (LCA – ang. *Life Cycle Assessment*) [4] wykorzystywane są niezbyt często i zazwyczaj przez ośrodki naukowe w projektach badawczych, jak również przez działy badawczo-rozwojowe dużych koncernów. Pionierami w tym zakresie wydają się być przedstawiciele przemysłu chemicznego i budownictwa [18]. W ostatnim czasie można zaobserwować również wzmożone zainteresowanie w tym zakresie ze strony producentów produktów spożywczych, widzących szansę w wykorzystaniu wniosków z wymienionych analiz do budowy przewagi konkurencyjnej poprzez aspekt marketingowy i dotarcie w ten sposób do świadomych konsumentów. Wymienione powyżej metody, zwłaszcza kosztu termoeologicznego, mogłyby być z powodzeniem stosowane do monitorowania powiązań konkretnego produktu z czerpaniem surowców ze środowiska naturalnego do jego produkcji. O potrzebie wprowadzenia powszechnych metod monitorowania postępu w dążeniu do gospodarki obiegu zamkniętego mówi również *Mapa drogowa transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym* [5].

Podsumowując można stwierdzić, że osiągnięcie neutralności klimatycznej w obszarze całej gospodarki w 2050 roku w aspekcie wskaźników jednostkowych (definiowanych dla liczby mieszkańców i poziomu życia) jest mało realnym celem, jednakże z uwagi na kurczące się zasoby surowców energetycznych nieodnawialnych i nieenergetycznych stosowany obecnie model gospodarki liniowej musi ulec zmianie na rzecz gospodarki cyrkularnej (o obiegu zamkniętym). Działania takie wymagają szybkiego wprowadzenia metod pozwalających na skuteczne określenie postępu w zbliżaniu się do celu, jakim jest neutralność klimatyczna.

Analiza egzergetyczna – użyteczne narzędzie służące do określania intensywności korzystania ze środowiska

Analiza egzergetyczna pozwala na pełniejsze określenie wpływu danej technologii na środowisko niż analiza energetyczna i towarzyszące jej kluczowe wskaźniki efektywności (KPI – ang. *Key Performance Indicators*) wyrażane jako sprawności energetyczne lub jednostkowe zużycie energii na jednostkę produktu. Narzędzie to jest niestety rzadko stosowane w praktyce. Egzergia, określając jakość energii, pozwala także na ujęcie ilościowe (w takiej samej jednostce) – zarówno kompleksowe, jak i cząstkowe – wszystkich istotnych elementów bilansu masowego danego procesu, tj. określenie intensywności czerpania ze środowiska naturalnego surowców wymaganych do procesu, a także wprowadzania do tego środowiska różnego rodzaju zanieczyszczeń generowanych w tych procesach. Obciążenie to można przypisać jednostce produktu określając, przy pewnych założeniach, jego liczbowy wpływ na środowisko (wyznaczony ustandaryzowanymi metodami, co finalnie prowadzi do ustalenia – ujmując to językiem potocznym – pewnego rodzaju skali „zieloności produktu”).

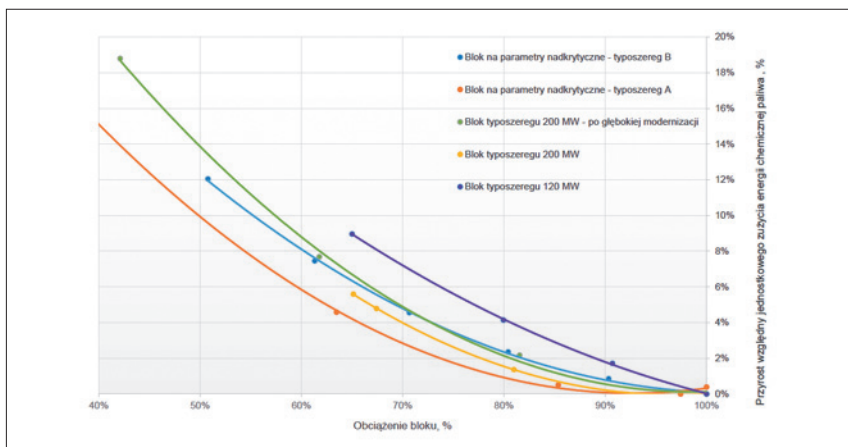
Pewnym rozwinięciem analizy egzergetycznej jest Metoda Kosztu Termoeologicznego (TEC – ang. *Thermo-Ecological Cost*) pozwalająca na określanie stopnia wykorzystywania bogactw naturalnych w procesach przemysłowych. Metoda ta pozwala na porównanie poszczególnych technologii wytwarzania energii, jak również innych procesów przemysłowych. Pojęcie kosztu termoeologicznego zostało zdefiniowane przez prof. Jana Szarguta jako „skumulowane zużycie energii bogactw nieodnawialnych obciążające wszystkie etapy procesów wytwórczych, prowadzące od pozyskania surowców do produktu finalnego” [3]. Metoda ta została szczegółowo opisana w [3], a jednostką kosztu termoeologicznego TEC jest MWh/MWh i jednostki pochodne.

Wytwarzanie energii w ujęciu kosztu termoeologicznego

Do oceny jakości wytwarzania/przewarzenia energii w sektorze energetycznym stosuje się metody wykorzystujące bilansowanie energetyczne i wielkości pochodne wyznaczane na ich podstawie. W podejściu tym osłonę bilansową zakłada się zazwyczaj na obszarze elektrowni, co nie daje pełnego i rzeczywistego obrazu w ujęciu wskaźników energetycznych oraz kosztów środowiskowych spalane-go paliwa. Stosowanie tego typu podejścia ma swoje szersze konsekwencje i skutkuje budowaniem zniekształconego obrazu nie tylko dla źródeł konwencjonalnych, ale przenoszone jest także na alternatywne źródła energii zarówno odnawialne, jak i jądrowe. Efektem tego jest nieprawdziwa i często wybrzmiewająca medialnie narracja, że źródła te (odnawialne i jądrowe), będąc zeroemisyjnymi, są neutralne dla środowiska.

Złożoność procesu zaspokajania potrzeb energetycznych przemysłu i ludności w gospodarkach rozwiniętych narzuca zasadę, że energia jest dostępna, a jej niedostatek jest traktowany jako stan awaryjny. Nieco inaczej sprawa dostępności energii traktowana jest w idei tzw. elektroprosumeryzmu, gdzie dostępność energii jest podyktowana grą wolnorynkową bez systemu dopłat i różnego rodzaju subwencji [12]. Podejście takie (tzn. ogólnej dostępności energii w cenach akceptowalnych dla gospodarki i społeczeństwa) w systemach, w których udział źródeł odnawialnych jest znaczący, wiąże się jednak z pewnymi ekologicznymi kosztami osieroconymi, które obecnie pokrywane są najczęściej przez źródła konwencjonalne stabilizujące Krajowy System Elektroenergetyczny (KSE). Dzieje się to kosztem znaczącego obniżenia sprawności jednostek konwencjonalnych i co za tym idzie – wzrostem negatywnego wpływu na środowisko naturalne. Dane w tym zakresie zostały przedstawione na rysunku 1, gdzie zestawiono charakterystyki przyrostu względnego zużycia energii chemicznej paliwa na jednostkę wyprodukowanej energii dla różnych źródeł wytwórczych.

Aspekt produkcji energii w źródłach odnawialnych wymaga także przywołania zobowiązań, jakie Polska posiada w zakresie produkcji energii z OZE – 15% w 2020 roku. Poziom ten, według [15], wydaje się mało realny do uzyskania, mimo znaczącego w pierwszym półroczu 2020 roku spadku zużycia energii, będącego następstwem tzw. lockdownu z powodu COVID-19. Z tej perspektywy producenci OZE przyczyniają się do spełnienia zobowiązań względem UE, a rola prosumentów w tym zakresie wymaga szczególnego podkreślenia, gdyż wobec całego oddawanego do sieci nadmiaru energii odnawialnej produkowanej w mikroinstalacjach w porze wiosenno-letniej odbierają 80% tej energii w porze jesienno-zimowej, kiedy to udział OZE wynosi prawie zawsze poniżej 15% (pewne wyjątki się zdarzają – jeden z nich został przedstawiony w [9]).



Rys. 1. Charakterystyka przyrostu względnego jednostkowego zużycia energii chemicznej paliwa netto na produkcję energii elektrycznej w funkcji zmiany obciążenia; Źródło: [9]



Rys. 2. Przebieg obciążenia bloku typoszeregu 200 MW w ośmiodniowym odcinku czasowym; Źródło: opracowanie własne

Mając na względzie rzetelność inżynierskiego spojrzenia należy także podkreślić, że rosnący udział OZE w miksie energetycznym będzie powodował jeszcze większą ilość odstawień bloków konwencjonalnych, co pociąga za sobą kolejne koszty środowiskowe [9]. Przykład pracy bloku energetycznego odstawanego praktycznie codziennie przedstawiony został na rysunku 2.

Tego typu praca, w przypadku przedstawionym na rysunku 2, implikuje dla bloku o wskaźniku 9753 kJ/kWh jego pogorszenie na poziomie 2,62%, tj. do poziomu 10 008 kJ/kWh.

Taki stan będzie istniał do momentu większej dostępności atrakcyjnych cenowo technologii magazynowania energii, co w skali KSE możliwe będzie zapewne tylko dzięki szerszemu wykorzystaniu technologii wodorowych. Wiele tego typu rozwiązań na mniejszą skalę (projekty demonstracyjne) jest już dostępnych, jednakże ich upowszechnienie wymaga jeszcze czasu i stworzenia odpowiednich uwarunkowań rynkowych [13]. Wielkoskalowe (sezonowe) magazynowanie energii (paliwo wodorne) zarezerwowane będzie raczej dla kawern i wyczerpanych złóż ropy i gazu. Doświadczenia w tym obszarze są jednak niezbyt bogate, więc komercjalizacja, z wielu względów, może zająć dekady.

Z pomocą w tym zakresie może przyjść dążenie do tzw. autonomiczności w zasilaniu w energię przez odbiorców indywidualnych i grupowych, zorganizowanych w ramach systemów wirtualnych [14]. Dążenie do zbilansowania na poziomie gospodarstwa domowego (osłona OK(P) – osłona prosumencka) czy wirtualnego systemu elektroenergetycznego (osłona OK(JST) – osłona wirtualna dla jednostek samorządów terytorialnych) w znaczący sposób może spowodować obniżenie zapotrzebowania na magazyny energii na poziomie KSE (osłona OK (KSE) – osłona zdefiniowana na poziomie zasobów KSE) [14].

Technologie magazynowania oparte na różnego rodzaju bateriach (na aktualnym poziomie technologicznym), w ujęciu TEC, obciążają środowisko i w wizji neutralności klimatycznej wypełnionej wytwarzaniem energii z wykorzystaniem OZE koszt ten powinien zostać przypisany działaniu tych właśnie źródeł. W tabeli 2 zamieszczone zostały wskaźniki kosztu termoeologicznego dla źródeł energii według struktury wytwórczej KSE.

Różnica w podejściu wyznaczania TEC dla źródeł odnawialnych i nieodnawialnych polega m.in. na tym, że w przypadku tych pierwszych ujmujemy koszt wytworzenia technologii i jej utrzymania, co w przypadku technologii bazujących na źródłach nieodnawialnych jest elementem, który można pominąć, gdyż wobec środowiskowych kosztów paliwa są praktycznie mało istotne [3]. Różnica między patrzeniem na obciążenie środowiskowe poszczególnych technologii a patrzeniem tylko przez pryzmat emisji CO₂ jeszcze wyraźniej jest widoczna w zestawieniu technologii jądrowych z technologiami konwencjonalnymi (tab. 3).

Przypadek przedstawiony w tabeli 3 wskazuje na zasadność kompleksowego patrzenia na procesy – nie tylko wytwarzania energii, ale też np. kosztów ekologicznych pozyskania tzw. metali ziem rzadkich. W przypadku elektrowni jądrowych elementem silnie wpływającym na TEC_{LCA} (metoda kosztu termoeologicznego w ujęciu kosztów środowiskowych w cyklu życia produktu) i zarazem na obniżenie skumulowanej sprawności egzergetycznej jest proces przygotowania paliwa [7]. W tym miejscu należy również zaznaczyć, że przeprowadzenie analiz zmierzających do określenia skumulowanego wpływu danego procesu na środowisko wymaga przyjęcia wielu założeń. Jednym z ważniejszych jest ustalenie granic bilansowych i zdefiniowanie podstawowych pojęć, w tym chociażby tzw. kołyski oraz grobu w potocznym opisywaniu analiz LCA – „koszty środowiskowe od kołyski po grób”.

Tabela 2

Koszt termoeologiczny dla źródeł pracujących w KSE

Technologia wytwarzania energii	TEC, MWh/MWh
Bloki na węgiel kamienny	5,29
Bloki na węgiel brunatny	3,99
CCGT	2,02
Źródła fotowoltaiczne (PV)	0,26
Źródła biogazowe	0,17
Elektrownie wodne	0,01
Elektrownie wiatrowe lądowe	0,09

Źródło: [6]

Porównanie TEC oraz sprawności energetycznej lokalnej i egzergetycznej skumulowanej dla technologii jądrowych i wytwarzania konwencjonalnego

Technologia	Sprawność energetyczna lokalna	TECLCA, MJ/MJ	Sprawność egzergetyczna skumulowana
Elektrownie jądrowe obecnie pracujące	24,1	58,39	1,71
Elektrownie jądrowe III generacji	41,3	34,13	2,93
Elektrownie jądrowe istniejące z cyklem odzysku paliwa z odpadów	27	57,8	1,73
Elektrownie jądrowe trzeciej generacji z odzyskiem paliwa z odpadów	46,2	33,78	2,96
Średnia elektrownia węglowa w Polsce	31,8	3,90	25,64
Elektrownia węglowa wg konkluzji BAT [17]	45,9	2,64	38,90
Źródła gazowe wg konkluzji BAT (NGCC)*	57,7	1,82	54,34

* Natural Gas Fuelled Combined Cycle Power Plant – układ kombinowany z turbiną gazową pracującą na gazie ziemnym

Źródło: [7]

Tabela 4

Porównanie emisji źródeł energii w ujęciu emisji bezpośredniej i skumulowanej

Technologia	Wartość emisji, t _{CO₂} /TJ
Węgiel – bezpośrednia emisja	92
Węgiel – emisja skumulowana	95,8
Węgiel – emisja skumulowana z uwalnianiem metanu do atmosfery	101,6–104,8
Gaz – emisja bezpośrednia	56,0
Gaz – wariant 1:21 GWP ^{a)} + 0,11 wycieków	71,55
Gaz – wariant 2:21 GWP + 3,25 wycieków	85,04
Gaz – wariant 3:30 GWP + 0,11 wycieków	71,75
Gaz – wariant 4:30 GWP + 1,5 wycieków	80,30
Gaz – wariant 5:30 GWP + 3,25 wycieków	91,02
Gaz – wariant 6:30 GWP + 4,2 wycieków	96,85

^{a)} Global Warming Potential – wskaźnik służący do ilościowej oceny wpływu danej substancji na efekt cieplarniany

Źródło: [10]

Innym ciekawym przykładem zastosowania analiz bazujących na wskaźnikach skumulowanych jest porównanie emisyjności źródła w zależności od tego, skąd pozyskiwane jest paliwo i jakie są z tym związane koszty, w odniesieniu do jednostki produkowanej/przetwarzanej energii. Zastosowanie to dosyć dobrze wypełnia pojęcie śladu węglowego [8]. Patrząc na sektor wytwarzania energii i jego oddziaływanie na środowisko, głównie poprzez emisję CO₂, pojęcie to dostarcza pełniejszy obraz rzeczywistych emisji, umniejszając w ten sposób potencjał kosztów środowiskowych osieroconych, a wynikających np. z przesyłu paliwa gazowego na duże odległości.

Tabela 4 zawiera porównanie emisji bezpośrednich dla paliwa gazowego w źródle, a także wartości ujmujące nieszczelności rurociągów gazowych i straty z tym pośrednio powiązane, np. usuwania awarii, jak również emisji CO₂, jaka ma miejsce na tłoczniach gazowych służących do podnoszenia ciśnienia przetwarzanego gazu, z poziomem emisji bloków węglowych.

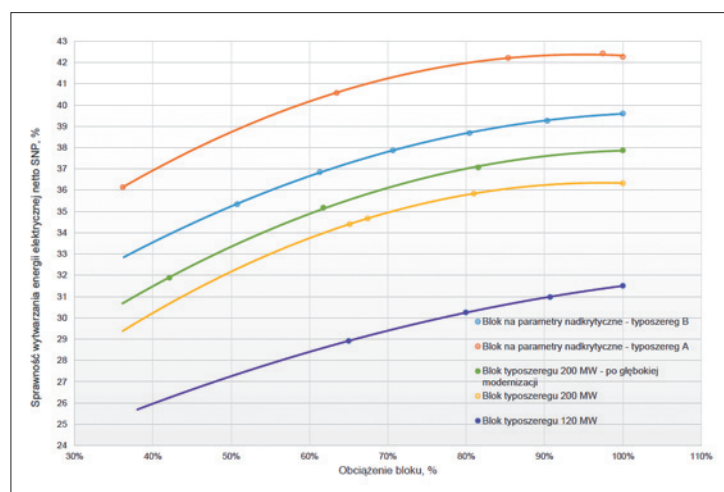
Zestawienie to wskazuje jednoznacznie, że dla przyjętych do obliczeń wyższych wartości przecieków (szacowanych i podawanych przez źródła amerykańskie) produkcja energii oparta na paliwach gazowych jest bar-

dziej emisyjna od skumulowanej produkcji opartej na węglu. Nawet przy niższej wartości przecieków (szacowanych i podawanych przez źródła rosyjskie i niemieckie) emisja skumulowana jest znacznie większa od emisji bezpośredniej w źródle, co w obecnie przyjętym standardzie raportowania nie jest brane pod uwagę.

W globalnym patrzeniu na sprawy środowiskowe, a takiego wymaga podążanie w kierunku neutralności klimatycznej, narzędzia takie jak analiza typu LCA i jej odstępna w postaci metody kosztu termoeologicznego mają wiele zalet. Ich zastosowanie pozwala na ustandaryzowane patrzenie na wskaźniki opisujące stopień korzystania ze środowiska naturalnego zarówno w wymiarze globalnym, jak i lokalnym. Mimo znacznego stopnia skomplikowania ich wykorzystanie powinno stać się standardem, a przy wprowadzaniu danej technologii i produktu na rynek powinno być obowiązkowe.

Potencjał rozwoju technologii tradycyjnych i odnawialnych

W kontekście zmierzania do neutralności klimatycznej warto również wspomnieć o potencjale rozwojowym technologii wytwarzania energii. Postęp w podnoszeniu sprawności energetycznych jednostek konwencjonalnych był bardzo duży, co pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Zestawienie charakterystyk sprawności bloków energetycznych obrazujące rozwój technologii konwencjonalnego wytwarzania energii

Źródło: opracowanie własne

Nowo oddawane bloki energetyczne posiadają sprawności energetyczne netto na poziomie ok. 45% dla obciążenia znamionowego. Do osiągnięcia takiego poziomu przyczyniły się bardzo wysokie sprawności kluczowych wysp technologicznych:

- kotła – nawet do 95% (węgiel kamienny);
- turbiny:
 - części wysokoprężnej – do 90%,
 - części średnioprężnej – do 95%,
 - części niskoprężnej – do 90%;
- skraplacza – spiętrzenia temperatur na poziomie ok. 3,5–4°C (eksploatacyjnie 4–4,5°C);
- chłodni kominowych – układy strefowe elastycznie dostosowujące się do pracy bloku, o najczęściej stosowanym „zbliżeniu do granicy chłodzenia” na poziomie 6–7°C – parametr ten jest przedmiotem optymalizacji techniczno-ekonomicznej (definiowane jako różnica pomiędzy temperaturą wody ochłodzonej a temperaturą termometru wilgotnego).

Tak wyśrubowane parametry pozostawiają już tylko niewielki margines do doskonalenia i jest on ulokowany głównie w zwiększaniu parametrów pary, co przy ciśnieniach przekraczających 25 MPa i temperaturach pary świeżej powyżej 600°C i 620°C na parze wtórnie przegrzanej implikuje znaczące problemy materiałowe. Mając na względzie europejską politykę energetyczną, ale także działania innych wysoce rozwiniętych państw, nie należy spodziewać się dużych postępów w tym zakresie (również z uwagi na kurczący się rynek).

Pewnym rozwiązaniem mogą być jednostkowe wdrożenia układów kombinowanych wykorzystujących m.in. zgazowanie węgla, jednakże te rozwiązania nie odegrają znaczącej roli. Z uwagi na toczące się przemiany o charakterze transformacyjnym, a także potrzebę stabilizacji KSE, należy spodziewać się (co znajduje potwierdzenie w ilości realizowanych i rozważanych obecnie projektów w tym zakresie) wzrostu udziału bloków gazowo-parowych w KSE jako źródła dużej dynamice, przystosowanych do częstych uruchomień. Potencjał rozwojowy w dzie-

dzinie turbin gazowych wydaje się również w znacznym stopniu zagospodarowany, więc rewolucyjnych osiągnięć w tym zakresie nie należy oczekiwać. Wyjątkiem jest obszar związany ze współspalaniem wodoru, nad rozwojem którego od dłuższego czasu pracują dostawcy turbin gazowych [13].

Nieco inaczej sprawa wygląda w przypadku technologii wykorzystywanych w obszarze odnawialnych źródeł energii.

Na rysunkach 4 i 5 przedstawione zostały wskaźniki ekonomiczne dotyczące: kosztu instalacji, współczynnika wykorzystania oraz kosztu minimalnego, którego pokrycie zapewnia rentowność instalacji fotowoltaicznych i farm wiatrowych lądowych.

Dane przedstawione na rysunkach 4 i 5 wskazują, że potencjał do poprawy wskaźników wydajności jest znaczący, a zapotrzebowanie rynkowe będzie elementem napędowym dla działań badawczo-rozwojowych firm specjalizujących się w dostarczaniu technologii dla energetyki odnawialnej. W tym miejscu warto również wspomnieć o realizowanych w kraju inicjatywach klastrów związanych z dążeniem lokalnych społeczności do samowystarczalności energetycznej. Skuteczne działania klastrów energii wymaga jednak doposażenia ich w instrumenty prawne usprawniające zdolność działań tych podmiotów, co mogłoby przynieść korzystne zmiany środowiskowe, jak również prowadzić do poprawy stabilności KSE.

Sprawne funkcjonowanie tego typu organizmów rozpoczęłoby także proces zmiany świadomości uczestników klastra, którego skutki byłyby pozytywne dla środowiska, a sama zmiana bazowałaby na regule rynkowej, polegającej na tym, że energia po akceptowalnej cenie nie zawsze jest dostępna [12]. Funkcjonowanie podmiotów należących do takich klastrów wymagałoby wówczas pewnej elastyczności, której poziom byłby proporcjonalny do poziomu akceptowalności cen energii. Dziś tego typu inicjatywy, zrzeszające nierzadko po kilkudziesięciu członków, dążące do zbilansowania na poziomie wirtualnym, z powodzeniem funkcjonują w Polsce – np. Ostrowski Klaster Energetyczny [19].

Rys. 4. Charakterystyki przedstawiające zmienność cen instalacji, współczynnika wykorzystania i kosztu granicznego wyprodukowanej energii zapewniającego rentowność instalacji PV
Źródło: opracowanie własne na podstawie [11]



Rys. 5. Charakterystyki przedstawiające zmienność cen instalacji, współczynnika wykorzystania i kosztu granicznego wyprodukowanej energii zapewniającego rentowność elektrowni wiatrowych lądowych
Źródło: opracowanie własne na podstawie [11]



Działalność klastrów w wielu obszarach wpisuje się w ideę elektroprosumeryzmu definiowaną przez prof. Jana Popczyka [12, 14]. W ramach prowadzonych aktywności podejmowany jest szereg działań mających na celu redukcję emisji CO₂ w ramach własnej struktury wytwórczej, a także podejmowane są próby bilansowania uczestników klastra (póki co w obszarze systemu wirtualnego), co docelowo, w przypadku wielu tego typu podmiotów, będzie oparte m.in. na własnej infrastrukturze sieciowej. Przedsięwzięcie, którego celem jest zabezpieczenie potrzeb energetycznych lokalnych przedsiębiorców i indywidualnych uczestników klastra, przy jednoczesnej minimalizacji oddziaływania na środowisko naturalne, można traktować jako zasób równoważny np. dla potencjału efektywności energetycznej. W tym obszarze uwydatnia się także potrzeba określania śladu środowiskowego, pozwalająca na wypracowanie tzw. dobrych praktyk dla obszarów dążących do samowystarczalności energetycznej.

Podsumowanie

Ideę neutralności klimatycznej należy traktować jako kierunek, w którym zmierzamy, mając jednocześnie świadomość, że nie da się jej osiągnąć dosłownie, a już na pewno nie w horyzoncie 2050 roku.

Podejmowane działania powinny być zatem realizowane zgodnie z ideą zrównoważonego czerpania surowców nie-energetycznych. W dążeniu tym niezbędna jest odpowiednia edukacja poczynając od grup przedszkolnych i szkolnych poprzez uruchamianie dedykowanych kierunków na uczelniach wyższych aż do upowszechniania materiałów edukacyjnych przystępnych dla konsumentów. W sektorze energii i obszarze produkcji przemysłowej niezbędne jest szybkie wprowadzenie metod pozwalających w ustandaryzowany, do pewnego poziomu, sposób wyznaczania śladu środowiskowego, gdyż obecnie funkcjonujący system opłat za emisję CO₂ jest daleki od uczciwego traktowania kwestii wpływu na środowisko, co wykazano w niniejszym artykule.

Toczące się obecnie procesy związane z transformacją cyfrową, mieszczącą się pod hasłem Przemysł 4.0, sprawie monitorowania śladu środowiskowego mogą tylko pomóc. Jednak aby tak się stało, musi zostać podniesiona świadomość potrzeb monitorowania efektywności surowcowej realizowanej produkcji. Niestety, obecnie nasze problemy są zlokalizowane na wcześniejszym etapie, tzn. należytego monitorowania potencjału oszczędności energii, czyli ogólniej mówiąc – efektywności energetycznej. Jej poprawa i świadomość jej bieżącego potencjału są bowiem nieodłącznym i zarazem podstawowym elementem wielokrotnie przywołanej neutralności klimatycznej. W najbliższym czasie, tzn. na przełomie roku 2020/2021, powróci po czterech latach obowiązek dla podmiotów, które nie posiadają statusu małego i średniego przedsiębiorstwa – realizacja audytu energetycznego zgodnie z ustawą o efektywności energetycznej [23]. Działanie to, jak żadne inne narzucone prawnie, ma synergiczną właściwość bazującą na ukierunkowanym przeglądzie technologii w celu identyfikacji potencjału oszczędności efektywności energetycznej, surowcowej, a także obszarów do zastosowania atrybutów Przemysłu 4.0, których zasadność jest potwierdzona rachunkiem ekonomicznym [20, 21].

- [1] Witryna internetowa Komisji Europejskiej: <https://ec.europa.eu> [dostęp: 30.07.2020].
- [2] Szargut J., Ziębik A., *Podstawy energetyki ciepłej*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1998.
- [3] Stanek W., *Analiza egzergetyczna w teorii i praktyce*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2016.
- [4] PN-EN ISO 14040:2009: *Zarządzanie środowiskowe. Ocena cyklu życia. Zasady i struktura*.
- [5] *Mapa drogowa transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym*, Ministerstwo Przedsiębiorczości i Technologii, 2019, <https://www.gov.pl/web/rozwoj/rada-ministrow-przyjeta-projekt-mapy-drogowej-goz> [dostęp: 30.07.2020].
- [6] Stanek W., Szargut J., Czarnowska L., *Pro-Ecological Energy Tax of Electricity*, „Journal of Energy Resources Technology” 2016, vol. 138, issue 6.
- [7] Stanek W., Szargut J., Kolenda Z., Czarnowska L., *Exergo-ecological and Economic Evaluation of a Nuclear Power Plant within the whole Life Cycle*, „Energy” 2016, vol. 117.
- [8] PN-EN ISO 14067:2018: *Gazy cieplarniane. Ślad węglowy wyrobów. Wymagania i wytyczne dotyczące kwantyfikacji*.
- [9] Stupik T., *Dwusetki w regulacji*, „Energetyka Ciepła i Zawodowa” 2017, nr 7.
- [10] Stanek W., Białecki R., *Can natural gas warm the climate more than coal?*, „Fuel” 2014, vol. 136.
- [11] Taylor M. (et al.), *Renewable Power Generation Costs in 2019*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi 06.2020, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf [dostęp: 30.07.2020].
- [12] Popczyk J.: *Transformacja energetyki w trybie przełomowym*, „Energetyka” 2020, nr 5.
- [13] Chmielniak T., Chmielniak T., *Energetyka wodorowa*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2020.
- [14] Popczyk J.: *Trzy fale elektroprosumeryzmu*, „Energetyka” 2020, nr 7, <http://ppte2050.pl/platforma/bzpppte/static/uploads/Trzy%20fale%20elektroprosumeryzmu.%20Jan%20Popczyk.pdf> [dostęp: 30.07.2020].
- [15] *Osiągnięcie celu OZE w '20 wydaje się niemożliwe*, „Forum Energii”, 23 lipca 2020, <https://www.bankier.pl/wiadomosc/Forum-Energii-osiagniecie-celu-OZE-w-20-wydaje-sie-niemozliwe-7930438.html> [dostęp: 30.07.2020].
- [16] *Criticals materials for the transition to a 100% sustainable energy future*, WWF, ECOFYS, 2020, https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/critical_materials_report_jan_2014_low_res_final_.pdf [dostęp: 30.07.2020].
- [17] *Decyzja Wykonawcza Komisji (UE) 2017/1442 z dnia 31 lipca 2017 roku ustanawiająca konkluzje dotyczące najlepszych dostępnych technik (BAT) w odniesieniu do dużych obiektów energetycznego spalania zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE*, Dz. Urz. UE L 212/1.
- [18] *Mapa drogowa dochodzenia do neutralności emisyjnej cementu i betonu w 2050 roku*, „Materiały Budowlane” 2020, nr 6.
- [19] Popczyk J., Stupik T., Grzeškowiak J., *Ostrowski klaster – „Ostrowski Rynek Energetyczny”, Koniński klaster – „Zielona Energia Konina”, Efektywność energetyczna w horyzoncie 2050*, Konferencja „Ostrowski Rynek Ciepłowniczy”, Ostrów Wielkopolski, 6 marca 2020.
- [20] Stupik T., *Przemysł 4.0 w praktyce*, „Chemia Przemysłowa” 2019, nr 1.
- [21] Stupik T., *Audyt energetyczny przedsiębiorstwa – nowe rozdanie i nowe oczekiwania*, „Industrial Monitor”, wiosna 2020.
- [22] Popkiewicz M., *Świat na rozdrożu*, Wyd. Sonia Draga, [b.m.] 2012.
- [23] *Ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o efektywności energetycznej*, t.j. Dz. U. 2020, poz. 264, ze zmianami.

