Andrzej Ziębik, Paweł Gładysz [1)]
Politechnika Śląska,
Instytut Techniki Cieplnej

Uzasadnienie termodynamiczne krajowej i unijnej polityki energetycznej – analiza porównawcza

Thermodynamic justification of the Polish and the EU energy policy – comparative analysis

Założenia polityki energetycznej, zarówno pojedynczego państwa jak i Unii Europejskiej, są opracowywane zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju [1] i zawierają, m.in., ocenę bezpieczeństwa energetycznego kraju, prognozę zapotrzebowania na paliwa i energię, politykę racjonalizacji użytkowania paliw i energii oraz działania w zakresie ochrony środowiska. Z punktu widzenia energetyki zrównoważony rozwój oznacza:

- racjonalne użytkowanie ograniczonych zasobów nieodnawialnej energii pierwotnej,
- ograniczenie uciążliwości dla środowiska i zapewnienie bezpieczeństwa ekologicznego,
- tworzenie warunków uczciwej konkurencji w dostępie do ograniczonych zasobów naturalnych i możliwości odprowadzania zanieczyszczeń.

Bezpieczeństwo energetyczne to:

- ciągłość dostaw oraz społecznie uzasadnione ceny paliw i energii,
- zachowanie bezpieczeństwa ekologicznego.

Na podstawie przytoczonych definicji nasuwa się nieodparte pytanie – Czy analizy termodynamiczne mogą posłużyć do oceny założeń polityki energetycznej, w tym do oceny poziomu bezpieczeństwa energetycznego?

Ciągłość dostaw paliw i energii jest nieodłącznie związana z wyczerpywaniem nieodnawialnych zasobów energii pierwotnej, a kompensacja ujemnych skutków emisji szkodliwych substancji wymaga dodatkowego zużycia energii pierwotnej. Poziom obu tych wydatków można ocenić za pomocą tzw. kosztu termoekologicznego, pojęcia wywodzącego się z analizy egzergetycznej [2-4].

Sprawność konwersji energii pierwotnej można z dobrym przybliżeniem oszacować jako stosunek zużycia energii finalnej do zapotrzebowania na energię pierwotną. Stosunek egzergii finalnej do egzergii pierwotnej może służyć jako miara poziomu strat egzergii w łańcuchu przemian termodynamicznych energii pierwotnej [5]. Struktura pozyskania energii pierwotnej (proporcje pomiędzy energią pierwotną nieodnawialną i odnawialną) wpływa na poziom wyczerpywania bogactw naturalnych. To może być także ocenione za pomocą wskaźników kosztu termoekologicznego i zrównoważonego rozwoju (stosunek wskaźnika kosztu termoekologicznego do egzergii właściwej produktu) [2].

Poprawa efektywności energetycznej procesów pozyskania, przetwarzania, transportu i użytkowania nośników energii, prowadząca do obniżenia wskaźników kosztu termoekologicznego, wpływa w decydujący sposób na poziom akceptowalnych społecznie cen paliw i energii. Poprawa efektywności energetycznej zaś, to przede wszystkim zmniejszenie niedoskonałości termodynamicznej procesów energetycznych, tzn. m.in. [5]:

- podwyższenie sprawności termicznej obiegów cieplnych,
- skojarzone wytwarzanie ciepła i elektryczności,
- wykorzystanie energii odpadowej.

Odpowiedź na postawione na wstępie pytanie jest więc jednoznaczna – analizy termodynamiczne oparte na I i II Zasadzie Termodynamiki mogą być skutecznym narzędziem oceny założeń polityki energetycznej, w tym bezpieczeństwa energetycznego [6,7]. Oceny te mogą być sporządzone zarówno na poziomie całego kraju lub wspólnoty (składowa strukturalna), jak również na poziomie sektora gospodarki lub procesu wytwórczego (składowa technologiczna). Obie te składowe pozwalają na ocenę poprawności termodynamicznej przyjętych założeń polityki energetycznej.

Założenia polityki energetycznej Polski do roku 2030

Kluczowe założenia nowej polskiej polityki energetycznej, zapoczątkowanej na przełomie lat 80. i 90. wraz z transformacją ustrojową, były i pozostają w zasadzie te same. Należy do nich przede wszystkim bezpieczeństwo energetyczne oraz ochrona środowiska przyrodniczego przed negatywnymi skutkami oddziaływania procesów energetycznych, jak również poprawa konkurencyjności krajowych podmiotów gospodarczych oraz produktów i usług na rynkach międzynarodowych i na rynku wewnętrznym.

Celem polskiej polityki energetycznej jest zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego kraju przy zachowaniu zasady zrównoważonego rozwoju [8]. Polski system energetyczny

[1)] e-mail: andrzej.ziebik@polsl.pl, pawel.gladysz@polsl.pl

zależy w znacznym stopniu od importu gazu ziemnego i niemal całkowicie od dostaw zewnętrznych ropy naftowej. Własne zasoby węgla kamiennego i brunatnego zapewniały dotychczas bezpieczeństwo elektroenergetyczne kraju, a także w dużym stopniu bezpieczeństwo scentralizowanego i indywidualnego zaopatrzenia w ciepło. Jednakże polskie zobowiązania w ramach pakietu klimatyczno-energetycznego, akceptowanego w 2008 roku przez kraje członkowskie UE, ograniczają zastosowanie węgla w krajowym systemie energetycznym. Dlatego w przyszłości polska polityka energetyczna powinna bazować na tzw. miksie energetycznym, opartym zarówno na dużych systemach energetycznych, jak i na systemach energetyki rozproszonej, oczywiście w proporcjach wzajemnych, wynikających z możliwości krajowych. Nie biorąc pod uwagę wstępnych prognoz dotyczących gazu łupkowego, polski miks energetyczny powinien bazować na węglu i energii jądrowej. Obie te opcje nie wykluczają się wzajemnie, a nawet uzupełniają (np. synergia węglowo-jądrowa w układach zgazowania węgla). Natomiast gaz ziemny z importu powinien być brany pod uwagę w elektrowniach szczytowych oraz w układach rezerwujących elektrownie wiatrowe, jak również w układach wysokosprawnej kogeneracji. Tę ostatnią opinię może zmienić pozytywny rezultat badań nad pozyskiwaniem gazu łupkowego.

Wśród priorytetów polskiej polityki energetycznej do roku 2030 na pierwszym miejscu jest wymieniana poprawa efektywności energetycznej, a w szczególności [9]:

- wzrost sprawności energetycznej wytwarzania elektryczności,
- dwukrotny wzrost produkcji elektryczności w układach wysokosprawnej kogeneracji; do roku 2030 zaleca się zastąpić ciepłownie wysokosprawnymi elektrociepłowniami, a nowe moce wytwórcze w zakresie zapotrzebowania na ciepło powinny być układami skojarzonymi,
- obniżenie strat transformacji i przesyłania elektryczności,
- wyższa efektywność użytkowania energii finalnej dzięki m.in. wykorzystaniu energii odpadowej.

W dokumencie [9] podkreśla się, że racjonalizacja użytkowania energii, zarówno pierwotnej jak i finalnej, jest zasadniczą drogą poprawy efektywności gospodarki energetycznej i jej konkurencyjności w UE. Polityka energetyczna Polski do roku 2030 zakłada, że rozwój technologii wykorzystywania odnawialnych źródeł energii jest jednym z podstawowych zadań krajowego systemu energetycznego. To będzie sprzyjało poprawie czynnika ekologicznego gospodarki energetycznej, prowadząc do obniżenia kosztu termoekologicznego użytkowanej energii pierwotnej.

Po opublikowaniu dokumentu [9] ukazały się dwa dalsze dokumenty związane ze strategią energetyczną do roku 2020 [10] oraz projektem polityki energetycznej Polski do roku 2050 [11]. Oba te dokumenty prezentują wyniki charakteryzujące polski system energetyczny w roku 2012. Wówczas udział węgla kamiennego i brunatnego w produkcji elektryczności wynosił 84%, a udział OZE 10%. W [11] podkreślono, że w raporcie Międzynarodowej Agencji Energetycznej dotyczącym przeglądu polskiej gospodarki energetycznej w roku 2011 wyrażono akceptację priorytetów strategii energetycznej Polski i rekomendowano ich implementację. Sprawy związane z racjonalizacją gospodarki energetycznej zostały usankcjonowane poprzez wydanie ustawy o efektywności energetycznej [12].

Polityka energetyczna Unii Europejskiej

Główne cele polityki energetycznej Unii Europejskiej to: bezpieczeństwo dostaw energii, ochrona środowiska i zapewnienie warunków dla konkurencji na rynkach energii. Do priorytetów zaliczono: rozwój wspólnego rynku energii, promowanie efektywnego użytkowania energii, zwiększenie konkurencyjności odnawialnych źródeł energii, przeciwdziałanie zmianom klimatu (problem emisji CO_2). Porównanie wymienionych celów z celami przytoczonymi wcześniej dla Polski wskazuje na zbieżność polityki energetycznej Polski i Unii Europejskiej [13]. Na posiedzeniu szefów rządów 21 marca 2014 tematem numer jeden było bezpieczeństwo energetyczne. Podjęto decyzje o ściślejszym powiązaniu polityki klimatyczno-energetycznej z bezpieczeństwem energetycznym, w szczególności dotyczące:

- zwiększenia efektywności energetycznej,
- budowania połączeń transgranicznych między państwami członkowskimi (10% mocy zainstalowanej do roku 2020 i 15% do roku 2030),
- dywersyfikacji dostaw paliw (zmniejszenie zależności Unii Europejskiej od dostaw zewnętrznych gazu ziemnego i ropy naftowej).

Jako pierwszy cel polityki klimatyczno-energetycznej UE wymienia się bezpieczeństwo energetyczne, a przede wszystkim bezpieczeństwo dostaw energii pierwotnej [14]. Uzależnienie UE od dostaw energii pierwotnej w roku 2007 wynosiło 50%. Jeżeli nie zostaną podjęte działania w kierunku poprawy efektywności użytkowania energii i zwiększenia udziału własnych źródeł energii pierwotnej, to uzależnienie to może wzrosnąć do poziomu 80-90% w roku 2035 [15].

Drugi cel to zapewnienie konkurencyjności na rynkach energii elektrycznej i gazu ziemnego.

Trzeci cel nowej polityki energetycznej UE to przeciwdziałanie zmianom klimatycznym wywołanym emisją antropogenicznych gazów cieplarnianych (głównie CO_2) [16]. Pakiet energetyczny 3x20% przyjęty w 2008 roku precyzuje następujące ilościowe cele nowej polityki energetycznej UE w perspektywie do 2020 roku [13]:

- zmniejszenie zużycia energii pierwotnej o 20% w stosunku do prognozy dla UE na 2020 r. na drodze poprawy efektywności użytkowania energii,
- zmniejszenie o 20% emisji gazów cieplarnianych w stosunku do roku 1990,
- zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii do 20% całkowitego zużycia energii pierwotnej w UE.

W październiku 2014 roku Komisja Europejska przyjęła ramy polityki klimatyczno-energetycznej Unii Europejskiej na lata 2020-2030 (ograniczenie emisji gazów cieplarnianych o 40% w stosunku do roku 1990, zwiększenie do 27% udziału OZE w bilansie energii pierwotnej UE i podniesienie efektywności energetycznej o 27% obliczone wg tych samych zasad jak w pakiecie 3x20%). Cel 40% obniżenia emisji gazów cieplarnianych ma być osiągnięty w sposób zapewniający sprawiedliwy podział obciążeń pomiędzy kraje członkowskie, który będzie uwzględniał odchylenie lokalnego (krajowego) PKB od średniej wartości w UE [17].

Zielona Księga [18] w sprawie racjonalizacji zużycia energii porusza sprawę tzw. białych certyfikatów (wprowadzonych w części krajów UE), które mogą być przedmiotem wymiany lub handlu. Implementacja dyrektywy o efektywności energetycznej [19] jest

traktowana jako jedna z głównych dróg poprawy bezpieczeństwa energetycznego Unii Europejskiej. W [13] podkreśla się, że każdy 1 punkt procentowy oszczędności energii prowadzi do zmniejszenie importu gazu ziemnego o 2,6 punktu procentowego. Na szczeblu Unii Europejskiej przyjęto, że decyzja jednego z krajów członkowskich nie może zakłócić bezpieczeństwa energetycznego innego kraju. To zapewnić może Unia Energetyczna [20] poprzez zintegrowany europejski system energetyczny, który pozwoli na swobodne przepływy energii przez granice zgodnie z zasadami konkurencji przy najbardziej efektywnym wykorzystaniu zasobów [17].

Zielona Księga zwraca uwagę na potencjał, jaki w dziedzinie poprawy efektywności użytkowania energii zapewnia skojarzona gospodarka cieplno-elektryczna [18]. Państwa członkowskie zostały zobowiązane do wprowadzenia w życie Dyrektywy w sprawie promowania wysokosprawnej kogeneracji [21]. Państwa członkowskie powinny również promować rozwój kogeneracji z większym udziałem energii z OZE i odpadów, które sprzyjają poprawie bezpieczeństwa energetycznego.

Ocena termoekologiczna składowej strukturalnej polityki energetycznej

Wyczerpywanie zasobów nieodnawialnych bogactw naturalnych stanowi istotne zagrożenie w skali globalnej. Dlatego minimalizacja zużycia nieodnawialnych bogactw naturalnych może stać się w najbliższym czasie najważniejszym kryterium przy projektowaniu i eksploatacji procesów wytwarzania dóbr konsumpcyjnych, którym towarzyszy odprowadzanie do otoczenia szkodliwych produktów odpadowych. Prowadzi to do powstawania strat w środowisku, których kompensowanie wymaga dodatkowego zużycia nieodnawialnych bogactw naturalnych. Ze względu na cechy, jakie charakteryzują bogactwa naturalne, a mianowicie skład i koncentracja różna niż powszechnie występująca w otoczeniu, jako miernik ich jakości może być przyjęta egzergia [2,3]. Egzergia może być zastosowana jako miernik jakości zasobów naturalnych, ponieważ jej wartość zależy także od rozpowszechnienia surowców naturalnych. Dlatego wyczerpywanie nieodnawialnych zasobów energii pierwotnej może być w sposób ilościowy ocenione za pomocą skumulowanego zużycia egzergii zasobów naturalnych. Skumulowane zużycie egzergii bogactw nieodnawialnych odniesione do jednostkowej ilości produktu użytecznego nosi nazwę wskaźnika kosztu termoekologicznego [2,3]. Koszt termoekologiczny może być wykorzystany do określenia wskaźnika zrównoważonego rozwoju (stosunek kosztu termoekologicznego produktu do jego egzergii właściwej). Im bardziej wartość wskaźnika zrównoważonego rozwoju jest większa od jedności, tym bardziej niekorzystne jest oddziaływanie rozpatrywanego produktu na wyczerpywanie nieodnawialnych bogactw naturalnych. Z punktu widzenia wyczerpywania nieodnawialnych bogactw naturalnych powinno się dążyć do zmniejszenia wskaźnika zrównoważonego rozwoju.

Jak wspomniano wcześniej skumulowane zużycie egzergii nieodnawialnych zasobów energii pierwotnej uwzględnia nie tylko proces wytwarzania określonego produktu użytecznego, ale ujmuje także dodatkowe skumulowane zużycie egzergii niezbędne dla kompensacji strat spowodowanych emisją szkodliwych substancji do otoczenia. Suma tych dwóch pozycji odniesiona do jednostki produktu użytecznego została nazwana wskaźnikiem kosztu termoekologicznego [2,3].

W przypadku gdy znane są wskaźniki kosztu termoekologicznego podstawowych produktów krajowych (np. paliw kopalnych) można posłużyć się uproszczoną metodą obliczania wskaźników kosztu termoekologicznego wytwarzania finalnych nośników energii. Wskaźniki ρ kosztu termoekologicznego elektryczności, ciepła i chłodu produkowanych w procesach jednocelowych wyznacza się z relacji [4]:

$$\rho = e_P\left(\gamma_P + \zeta_P\right) \tag{1}$$

gdzie:

e_P – jednostkowe zużycie energii chemicznej paliwa,

γ_P – stosunek wskaźnika kosztu termoekologicznego paliwa do jego energii chemicznej,

ζ_P – składowa wskaźnika kosztu termoekologicznego dotycząca szkodliwych emisji.

Składową ζ_P oblicza się na podstawie znajomości wielkości zużycia egzergii bogactw naturalnych, produktu krajowego brutto, wielkości emisji szkodliwych substancji oraz monetarnych wskaźników szkodliwości produktów szkodliwych [3,4].

W układzie skojarzonym wskaźnik kosztu termoekologicznego ciepła wyznaczony zgodnie z zasadą unikniętych nakładów paliwowych [5] ujmuje formuła:

$$\rho_Q = \left(\frac{1+\sigma}{\eta_{E\,ec}} - \frac{\sigma}{\eta_{ref\,el}}\right)\left(\gamma_P + \zeta_P\right) \tag{2}$$

gdzie:

σ – wskaźnik skojarzenia,

$\eta_{E\,ec}$ – sprawność energetyczna elektrociepłowni,

$\eta_{ref\,el}$ – sprawność energetyczna elektrowni referencyjnej.

Wskaźnik zrównoważonego rozwoju (WZR) wynika z relacji [3]:

$$WZR = \frac{\rho}{b} \tag{3}$$

gdzie:

ρ – wskaźnik kosztu termoekologicznego produktu,

b – egzergia właściwa produktu.

Termoekologiczna analiza składowej strukturalnej polityki energetycznej, w tym bezpieczeństwa energetycznego, obejmuje następujące oceny:

- stosunek zapotrzebowania na energię i egzergię finalną do zapotrzebowania na energię i egzergię pierwotną,
- wskaźnik kosztu termoekologicznego i wskaźnik zrównoważonego rozwoju obciążający zużycie energii pierwotnej,
- składową paliwową wskaźnika kosztu termoekologicznego produkcji elektryczności,
- sprawność transformacji i przysyłania energii elektrycznej,
- wpływ rosnącego udziału wysokosprawnej kogeneracji na wskaźnik kosztu termoekologicznego ciepła scentralizowanego.

Im niższa wartość wskaźnika kosztu termoekologicznego, tym mniejsze obciążenie procesu wyczerpywania bogactw naturalnych.

Składowa technologiczna polityki energetycznej

O roli, jaką zarówno Unia Europejska jak i Polska przywiązują do poprawy efektywności wytwarzania, przetwarzania i użytkowania energii świadczą opublikowane w tym samym

2011 roku Dyrektywa w sprawie efektywności energetycznej [18] i polska Ustawa o efektywności energetycznej [12].

Drogą do poprawy efektywności energetycznej jest racjonalizacja energetyczna. Można wyróżnić następujące sposoby racjonalizacji użytkowania energii prowadzące do poprawy efektywności energetycznej [5]:

- poprawa niedoskonałości termodynamicznej procesów,
- poprawa stanu eksploatacji urządzeń energetycznych,
- poprawa sprawności energetycznej odbiorników energii,
- poprawa stanu wykorzystania energii odpadowej,
- obniżenie materiałochłonności procesów,
- zmniejszenie udziału produktów energochłonnych,
- poprawa wykorzystania surowców wtórnych.

Racjonalizacja użytkowania energii to przede wszystkim zmniejszenie niedoskonałości termodynamicznej procesów produkcyjnych w energetyce. II Zasada Termodynamiki i wynikająca z niej analiza egzergetyczna stanowi narzędzie do oceny możliwości zmniejszenia niedoskonałości termodynamicznej procesów energetycznych i chłodniczych. Niedoskonałości termodynamiczne powodują dewaluowanie energii. I chociaż w procesach rzeczywistych jest to nieuniknione, to jednak powinno być ograniczane w ramach możliwości technicznych i opłacalności ekonomicznej. Wykorzystuje się w tym celu analizę egzergetyczną [3,5]. Każda strata egzergii prowadzi do zwiększenia zużycia energii napędowej w procesie lub do zmniejszenia efektów użytecznych. Straty egzergii mają jednak zazwyczaj uzasadnienie ekonomiczne, ponieważ pozwalają na zmniejszenie nakładów inwestycyjnych. Jeżeli strata egzergii nie ma uzasadnienia ekonomicznego, należy ją uznać jako błąd w sztuce inżynierskiej [22].

Najważniejszą przyczyną niedoskonałości zaopatrzenia w ciepło jest nieodwracalny przepływ ciepła, który występuje na wszystkich etapach tego procesu. Znaczne straty egzergii mają miejsce już w procesie spalania, który jest jeszcze dominującym procesem konwersji paliw pierwotnych w ciepło i elektryczność [5]. Nieodwracalność przepływu ciepła w kotle ciepłowniczym między spalinami a nośnikiem ciepła można zmniejszyć przez wprowadzenie procesu wytwarzania pracy. W ten sposób tworzy się skojarzony układ wytwarzania ciepła i elektryczności. Dzięki zastosowaniu układu skojarzonego następuje skrócenie łańcucha nieodwracalnych przemian termodynamicznych, które w gospodarce rozdzielonej występują w obiegach elektrowni kondensacyjnej i ciepłowni. W elektrociepłowniach można zastosować kotły o wyższych parametrach termicznych i przez to uzyskać wyższą sprawność egzergetyczną. Zmniejszenie nieodwracalności, dzięki zastosowaniu gospodarki skojarzonej cieplno-elektrycznej, prowadzi do oszczędności w zużyciu paliw pierwotnych. Występuje także efekt częściowej kompensacji strat przesyłania ciepła w porównaniu z przesyłaniem ciepła z ciepłowni. Zmniejszenie strat nieodnawialnej egzergii pierwotnej w systemach zaopatrzenia w ciepło można uzyskać przez wykorzystanie odnawialnych źródeł energii (energii słonecznej, energii geotermalnej oraz biopaliw). Duże nakłady inwestycyjne na te instalacje obniżają konkurencyjność tych przedsięwzięć.

Każda z wielu istniejących technologii produkcji elektryczności posiada określony potencjał poprawy [23]. Podwyższenie parametrów pary świeżej w kierunku parametrów nadkrytycznych to tylko jeden z czynników wpływających na poprawę sprawności egzergetycznej siłowni. Udoskonalenie konstrukcji kotła i turbiny, zastosowanie drugiego stopnia przegrzewacza międzystopniowego, obniżenie ciśnienia w skraplaczu oraz pełniejsze wykorzystanie entalpii spalin wylotowych z kotła stanowią kolejne czynniki wpływające na podwyższenie sprawności bloku energetycznego. Technologia, która w ostatnim 30-leciu zanotowała szczególny postęp, to układy gazowe, a przede wszystkim gazowo-parowe. Układy gazowo-parowe wykorzystujące zalety obiegu gazowego (wysoka temperatura czynnika obiegowego ze względu na bezprzeponowy przepływ ciepła) i parowego (niska dolna izoterma realizowana w skraplaczu turbiny parowej) mogą osiągać sprawności dochodzące do 60%.

Obok tradycyjnych kotłów pyłowych krajowe bloki energetyczne i ciepłownicze są wyposażone w kotły fluidalne. Zaletą tych rozwiązań jest oczyszczanie spalin z SO_2 i NO_x realizowane wewnątrz komory spalania. Znaczącym osiągnięciem jest blok fluidalny na parametry nadkrytyczne w Łagiszy (sprawność netto 43%) [23].

Duże nadzieje wiąże się z możliwością zastosowania ogniw paliwowych w siłowniach cieplnych. Dzięki bezpośredniej zamianie energii chemicznej paliwa w energię elektryczną łańcuch przemian nieodwracalnych jest znacznie skrócony.

Podstawowy kierunek poszukiwań poprawy niedoskonałości termodynamicznej w sprężarkowych obiegach lewobieżnych jest związany z ograniczeniem nieodwracalności procesów wymiany ciepła. W tym zakresie istotną rolę odgrywa zastosowanie intensyfikacji wymiany ciepła (np. zastosowanie pola elektrycznego wraz z rozwinięciem powierzchni wymiany ciepła). Straty egzergii w procesie sprężania są ograniczane przez zastosowanie udoskonalonych systemów napędowych.

Zapotrzebowanie na ciepło grzejne i czynnik chłodniczy jest w okresie rocznym przesunięte względem siebie. Produkcja czynnika chłodniczego w okresie letnim realizowana w układach z agregatami chłodniczymi absorpcyjnymi wpływa na poprawę efektywności energetycznej i ekonomicznej elektrociepłowni. Tworzą się wówczas tzw. układy *trigeneration,* tzn. połączenie skojarzenia cieplno-elektrycznego z wytwarzaniem czynnika chłodniczego. W układzie *trigeneration* występuje także efekt częściowej kompensacji gorszej efektywności energetycznej chłodziarki absorpcyjnej, jeżeli działa ona w połączeniu z układem skojarzonym cieplno-elektrycznym [24].

Procesy energetyczne powinny być w zasadzie tak realizowane, aby energia napędowa była wykorzystana jak najpełniej w granicach technicznych możliwości i opłacalności ekonomicznej. W wielu jednak cieplnych procesach przemysłowych występują nośniki energii odpadowej (spaliny, palne gazy odlotowe, opary), które mogą być wykorzystane w sposób opłacalny. Energia odpadowa jest to energia bezużytecznie odprowadzana do otoczenia, jednak dzięki stosunkowo wysokiej egzergii nadająca się do dalszego wykorzystania w sposób ekonomicznie opłacalny. Przygotowanie energii odpadowej do użytecznego wykorzystania wymaga mniejszych nakładów niż pozyskanie energii nieodpadowej. Obniżeniu ulegają nakłady na transport i przetwarzanie paliw oraz emisja szkodliwych substancji do otoczenia. Rozróżnia się energię odpadową fizyczną i chemiczną. Fizyczna energia odpadowa wynika z różnicy parametrów termicznych nośnika odpadowego w stosunku do parametrów otoczenia. Chemiczna energia odpadowa wynika z różnicy składu chemicznego substancji odpadowej w stosunku do powszechnie występujących składników otoczenia [5].

Spośród sposobów wykorzystania fizycznej energii odpadowej najbardziej efektywną energetycznie jest rekuperacja fizyczna. Polega ona na wykorzystaniu entalpii fizycznej gazów odlotowych do podgrzewania substratów spalania. Bezpośrednie efekty użyteczne to obniżenie temperatury gazów odlotowych i zmniejszenie ich ilości na skutek obniżenia zużycia paliwa. Oba te efekty nakładają się nawzajem na siebie, a rezultatem superpozycji jest większy od jedności stosunek zaoszczędzonej energii chemicznej paliwa do ciepła rekuperacji przekazanego do podgrzewanych substratów procesu spalania. Mniej efektywnym, ale również skutecznym sposobem wykorzystania entalpii fizycznej gazów odlotowych jest zastosowanie kotłów odzyskowych (bezpaleniskowych). Stosuje się je wówczas, gdy podgrzewanie substratów spalania nie jest wymagane lub gdy wykorzystanie spalin w rekuperatorach jest zbyt małe. Stosowane są one także, gdy parametry spalin (zbyt wysoka temperatura, zawartość zanieczyszczeń w stanie plastycznym lub kropel metalu) wymagają zastosowania ochronnej powierzchni ogrzewanej. Poprawę efektywności działania kotłów odzyskowych można uzyskać przez połączenie przemysłowego systemu ciepłowniczego z miejskim systemem ciepłowniczym (tzw. terytorialny układ odzyskiwania energii odpadowej).

Spaliny o niezbyt wysokiej temperaturze można wykorzystać do zasilania ziębiarek absorpcyjnych, które mogą być zastosowane w układach sprężania do obniżenia temperatury czynnika zasysanego. Uzyskuje się dzięki temu zmniejszenie mocy napędowej przy zachowaniu stałej wydajności lub zwiększenie wydajności przy zachowaniu stałej mocy napędowej. Dławienie gazów odlotowych z procesów realizowanych przy podwyższonym ciśnieniu powoduje stratę egzergii. Celowe jest więc zastosowanie turbiny odzyskowej wykonującej pracę kosztem spadku egzergii gazów odlotowych [5].

Elementy konstrukcyjne wysokotemperaturowych urządzeń technologicznych wymagają chłodzenia. Zastąpienie tradycyjnego chłodzenia wodą surową przez chłodzenie z odparowaniem przynosi korzyści w postaci produkcji ciepła użytecznego (ok. 60% efektu użytecznego), zmniejszenia zużycia wody (około 20%) i przedłużenia żywotności elementów (ok. 20% efektu użytecznego).

Wykorzystanie entalpii fizycznej stałych produktów użytecznych i odpadowych jest technologicznie trudniejsze do zrealizowania. Entalpia fizyczna żużli może być wykorzystana do podgrzewania wody. Tradycyjną metodę mokrego gaszenia koksu zastępuje się instalacją suchego chłodzenia koksu, często połączoną z instalacją wstępnego podgrzewania węgla wsadowego. Entalpia fizyczna gorącego spieku jest wykorzystywana poprzez zagospodarowanie entalpii fizycznej powietrza używanego do chłodzenia spieku. Duże możliwości wykorzystania entalpii fizycznej produktów technologicznych do podgrzewania powietrza spalania mają miejsce w instalacjach przemysłu materiałów budowlanych oraz w procesach chłodzenia produktów walcowni hutniczych.

Najbardziej efektywnym sposobem zagospodarowania niskotemperaturowej energii odpadowej (ciecze do 150°C, gazy odlotowe poniżej 250°C) jest bezpośrednie podgrzewanie powietrza spalania, wody zasilającej, wody w sieci ciepłowniczej i ciepłej wody użytkowej. Przy wyższych temperaturach (do 350°C) bierze się pod uwagę zastosowanie niskotemperaturowego obiegu Clausiusa-Rankine'a (ORC) do produkcji elektryczności.

Gazy odlotowe zawierające składniki palne są wykorzystywane w zależności od ich wartości opałowej. Przy wartości opałowej powyżej 120 MJ/kmol gazy odlotowe stanowią wartościowe samodzielne paliwo. Przy W_d = 60–120 MJ/kmol wymagany jest dodatek paliwa bogatego, wzbogacenie powietrza spalania w tlen lub wysokie podgrzanie powietrza. Niskokaloryczne gazy odlotowe mogą być wykorzystywane do zasilania autonomicznych pogrzewaczy substratów spalania wyposażonych w komory spalania [5].

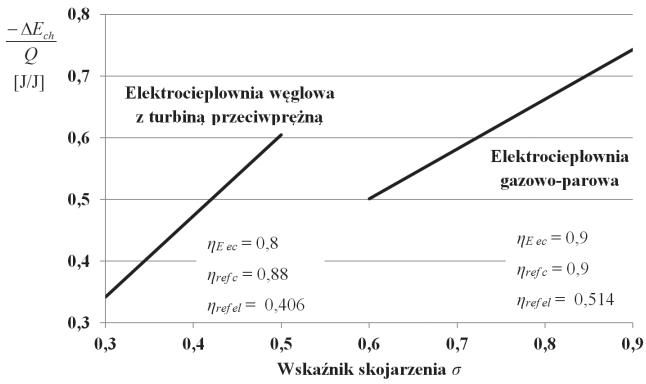
Wpływ składowej technologicznej na strukturę pozyskiwania energii pierwotnej

Zarówno w krajowej, jak i w unijnej polityce energetycznej poprawa efektywności energetycznej jest uznawana za najważniejszy czynnik sprzyjający poprawie bezpieczeństwa energetycznego. Jest to głównie aspekt techniczny bezpieczeństwa energetycznego, chociaż w pewnym stopniu również strukturalny, ponieważ przekłada się na oszczędność zużycia energii pierwotnej. Jak podkreśla się w [13] efektywność energetyczna jest kluczową składową narodowych planów energetycznych krajów członkowskich UE. Poprawa efektywności energetycznej odbywa się na drodze racjonalizacji użytkowania energii. Rozróżnia się racjonalizację strukturalną, techniczną i organizacyjną. Racjonalizacja strukturalna jest realizowana na szczeblu centralnym. Techniczna i organizacyjna dotyczy działań na poziomie poszczególnych podsystemów energetycznych i procesów energotechnologicznych. Potencjał efektywnego wykorzystania energii jest zasobem energetycznym, tak jak energia pierwotna („szóste paliwo") [25].

Zwrócono uwagę m.in. na wysokosprawną kogenerację i wykorzystanie energii odpadowej jako skutecznej drogi poprawy efektywności energetycznej procesów cieplnych. Oba te przedsięwzięcia prowadzą w efekcie końcowym do oszczędności energii chemicznej paliw pierwotnych. Wpływają więc zarówno na wielkość zapotrzebowania energii pierwotnej, jak również na jego strukturę.

W celu oceny efektów energetycznych kogeneracji wyznacza się oszczędność energii chemicznej paliw w odniesieniu do jednostki produkowanego ciepła. Oszczędność tę oblicza się porównując zużycie energii chemicznej paliwa w elektrociepłowni z unikniętym zużyciem energii chemicznej paliw w gospodarce rozdzielonej, tzn. w zastąpionej (referencyjnej) ciepłowni i w zastąpionej (referencyjnej) elektrowni, przy założeniu pokrywania tego samego zapotrzebowania na ciepło i elektryczność u odbiorcy końcowego. Na rysunku 1 przedstawiono przebieg wskaźnika względnej oszczędności energii chemicznej paliw w przypadku elektrociepłowni parowej opalanej węglem z turbiną przeciwprężną oraz elektrociepłowni gazowo-parowej opalanej gazem ziemnym.

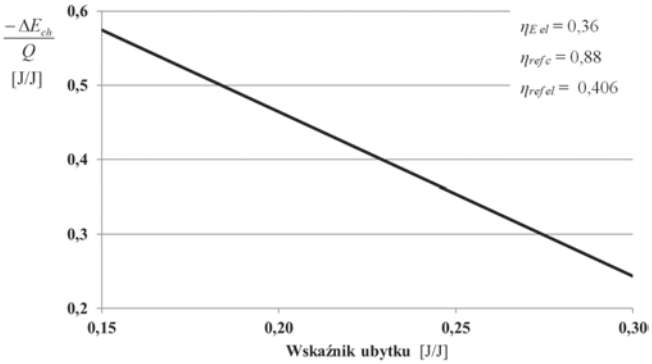
Również przystosowanie bloków energetycznych do produkcji ciepła prowadzi do realizacji gospodarki skojarzonej cieplno-elektrycznej (kogeneracji). Przy zachowaniu na tym samym poziomie zużycia energii chemicznej paliwa uciepłownienie prowadzi do ubytku produkcji energii elektrycznej. Ten ubytek należy skompensować zwiększając produkcję elektryczności w zastępczej elektrowni systemowej. Oszczędność energii chemicznej paliwa uzyskana dzięki uciepłownieniu bloku energetycznego jest tym większa, im niższy jest wskaźnik ubytku produkcji energii elektrycznej, czyli im niższe jest ciśnienie pary przeznaczonej do ciepłownictwa.



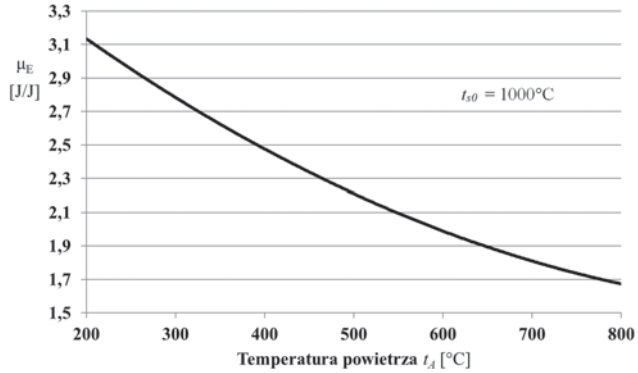
Rys. 1. Wskaźnik względnej oszczędności energii chemicznej paliwa

Na rysunku 2 przedstawiono wskaźnik względnej oszczędności energii chemicznej paliwa w zależności od wskaźnika ubytku (stosunek zmniejszenia produkcji energii elektrycznej do ilości ciepła przekazanego do ciepłownictwa).

Przykład poprawy efektywności energetycznej uzyskany dzięki wykorzystaniu energii odpadowej przedstawiono na rysunku 3. Wspomniany wcześniej mnożnik oszczędności energii chemicznej uzyskany dzięki podgrzewaniu powietrza spalania (rekuperacja fizyczna) przyjmuje wartości od 3,1 do 1,7 w zależności od temperatury podgrzewanego powietrza (200-800°C).



Rys. 2. Wskaźnik oszczędności energii chemicznej paliw w uciepłownionej elektrowni

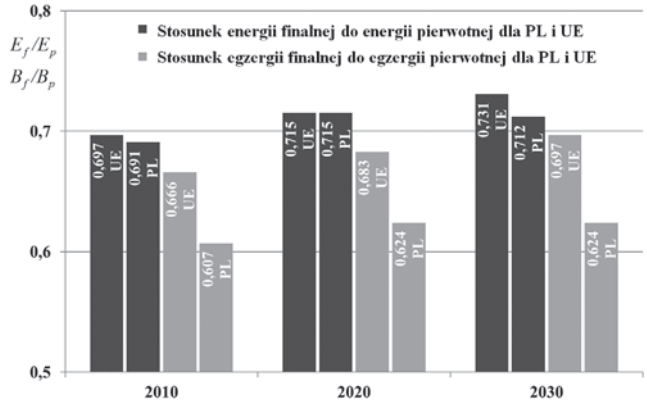


Rys. 3. Mnożnik oszczędności energii chemicznej paliw w procesie rekuperacji fizycznej; t_{s0} – temperatura spalin wylotowych przed rekuperacją

Przytoczone przykłady nie wyczerpują tematu poprawy efektywności energetycznej, a wskazują jedynie na fakt, że słuszna jest uwaga, jaką przywiązuje się do tego zagadnienia zarówno w Polsce, jak i w Unii Europejskiej.

Porównanie wskaźników strukturalnych i dyskusja

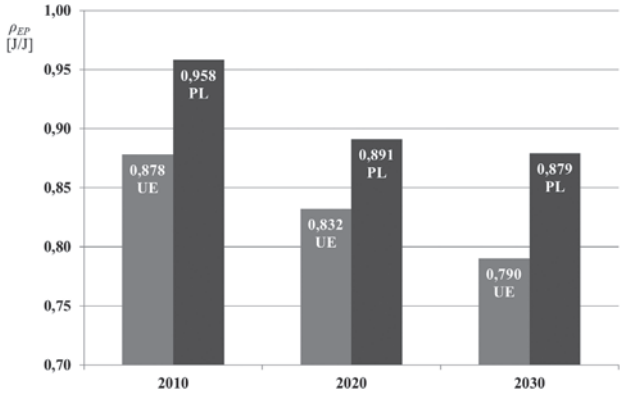
Na podstawie przedstawionego na wstępie kryterium termoekologicznego przeprowadzono analizę założeń krajowej polityki energetycznej do roku 2030 i jej porównanie z polityką energetyczną Unii Europejskiej. Podstawą analizy były krajowe dane liczbowe zawarte w [11] dotyczące prognozy zapotrzebowania na energię pierwotną i finalną w latach 2010-2030. Odpowiednie dane do analizy porównawczej krajowej polityki energetycznej z założeniami polityki energetycznej Unii Europejskiej zaczerpnięto z [26]. Pozycje [4] oraz [27] i [28] były bazą do obliczeń kosztu termoekologicznego.



Rys. 4. Stosunek energii (i egzergii) finalnej do energii (i egzergii) pierwotnej dla Polski i Unii Europejskiej w wybranych latach

W pierwszej kolejności oceniono tendencję zmian stosunku energii i egzergii finalnej do energii i egzergii pierwotnej (rys. 4). Stosunek ten wyraża z dobrym przybliżeniem sprawność przetwarzania energii pierwotnej. Wzrasta on w przypadku Polski z wartości 69,1% w roku 2010 do 71,2% w roku 2030. Wzrasta również w tym okresie sprawność egzergetyczna przetwarzania energii pierwotnej o blisko 2 punkty procentowe, co świadczy o mniejszych stratach egzergii w procesach przetwarzania energii pierwotnej. W przypadku Unii Europejskiej wartość średnia z 27 krajów członkowskich (rok 2010) dotycząca stosunku energii finalnej do energii pierwotnej jest nieco wyższa od wartości dla Polski, ale w roku 2030 ta różnica sięga już dwóch punktów procentowych, co świadczy, że zmiana struktury pozyskiwania energii pierwotnej w Unii Europejskiej jako całości (27 państw) jest bardziej korzystna niż w Polsce. Jest to wpływ m.in. zwiększenia udziału energii odnawialnej.

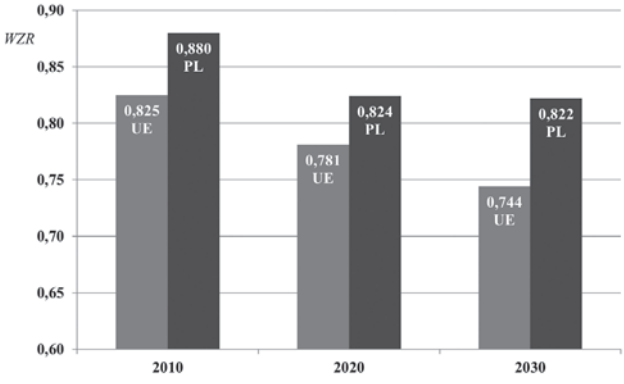
Zdecydowanie korzystniejszy jest dla Unii Europejskiej stosunek egzergii finalnej do egzergii pierwotnej. Różnica, która w latach 2010 i 2020 wynosi ok. 6 punktów procentowych, w roku 2030 zwiększa się do 7,3 punktów procentowych. To wskazuje na korzystniejsze zmiany w strukturze energii pierwotnej Unii Europejskiej jako całości z punktu widzenia sprawności egzergetycznych technologii przetwarzania energii pierwotnej w nośniki energii finalnej.



Rys. 5. Koszt termoekologiczny energii pierwotnej dla Polski i Unii Europejskiej w wybranych latach

Koszt termoekologiczny energii pierwotnej maleje w przypadku Polski z 0,958 J/J w roku 2010 do 0,891 J/J w roku 2020 i 0,879 J/J w roku 2030. Znaczny spadek wskaźnika kosztu termoekologicznego energii pierwotnej w bieżącym dziesięcioleciu jest przede wszystkim wynikiem wzrostu udziału energii odnawialnej w strukturze pozyskiwania energii pierwotnej. Stabilizacja tego wskaźnika w kolejnym dziesięcioleciu (2020-2030) świadczy o ograniczonym potencjale dostępu do OZE w przypadku Polski (rys. 5).

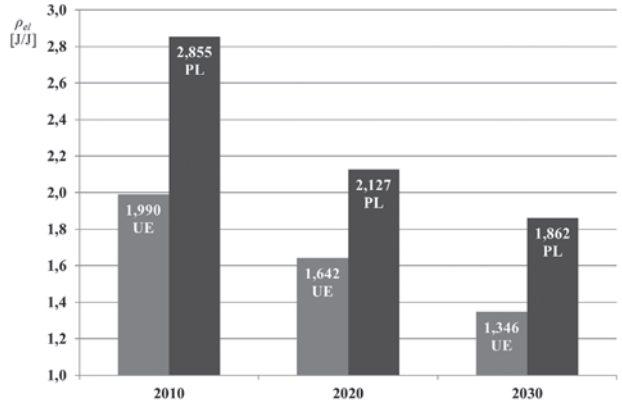
Korzystną tendencję ograniczenia wyczerpywania bogactw naturalnych potwierdza przebieg wskaźnika zrównoważonego rozwoju, który maleje z 0,88 (w roku 2010) do ok. 0,82 (w roku 2030) (rys. 6). Jest to wynikiem, tak jak już wspomniano, zwiększonego udziału źródeł energii odnawialnej w pozyskiwaniu energii pierwotnej i wzrastającego udziału paliw węglowodorowych w strukturze pozyskania energii pierwotnej. Porównanie z Unią Europejską wskazuje na bardziej korzystną strukturę pozyskania energii pierwotnej w Unii jako całości (27 państw członkowskich) z punktu widzenia wyczerpywania bogactw naturalnych. O ile w bieżącym dziesięcioleciu w Polsce przewidywany jest większy spadek wskaźnika kosztu termoekologicznego energii pierwotnej (0,067 J/J w porównaniu z 0,046 J/J dla Unii Europejskiej), to w następnym dziesięcioleciu w Unii Europejskiej odnotowuje się spadek wskaźnika kosztu termoekologicznego prawie na tym samym poziomie (0,042 J/J), podczas gdy w Polsce ten spadek jest znacznie skromniejszy (tylko 0,012 J/J). Potwierdza to również przebieg wskaźnika zrównoważonego rozwoju dla obu analizowanych systemów energetycznych.



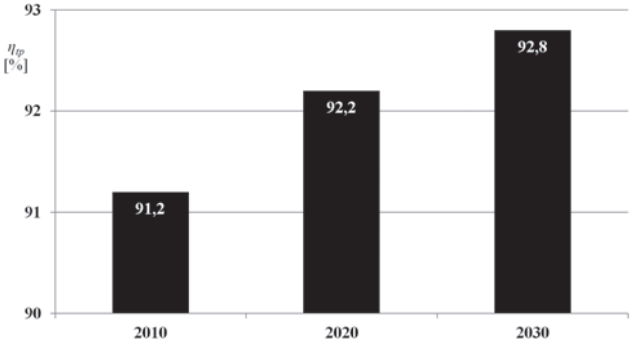
Rys. 6. Wskaźnik zrównoważonego rozwoju dla Polski i Unii Europejskiej w wybranych latach

Koszt termoekologiczny wytwarzania elektryczności w przypadku Polski maleje z wartości 2,855 J/J (w roku 2010) do wartości 1,862 J/J w roku 2030 (rys. 7). Również i w tym przypadku odnotowuje się korzystny wpływ zmiany struktury energii pierwotnej (wzrost udziału OZE i gazu ziemnego, obniżenie udziału węgla), jak i zmian technologicznych (nowe bloki nadkrytyczne, wzrost udziału wysokosprawnej kogeneracji) na wyjątkowo duże obniżenie wskaźnika kosztu termoekologicznego energii elektrycznej z wartości 2,855 J/J (w roku 2010) do 1,862 (w roku 2030), przy czym w obecnym dziesięcioleciu ten spadek jest trzykrotnie wyższy aniżeli w następnym (2020-2030). To także wynika między innymi z ograniczonego potencjału OZE w Polsce. W porównaniu z Polską Unia Europejska jako całość (27 państw) już w roku 2010 charakteryzuje się wskaźnikiem kosztu termoekologicznego energii elektrycznej na poziomie 1,99 J/J, odnotowując dalszy jego równomierny spadek do poziomu 1,346 J/J w roku 2030. Jest to przede wszystkim rezultat rosnącego udziału OZE w strukturze energii pierwotnej. Można z satysfakcją odnotować, że różnica między wskaźnikami kosztu termoekologicznego elektryczności produkowanej w Unii Europejskiej i w Polsce maleje półtorakrotnie na przestrzeni analizowanych lat 2010-2030.

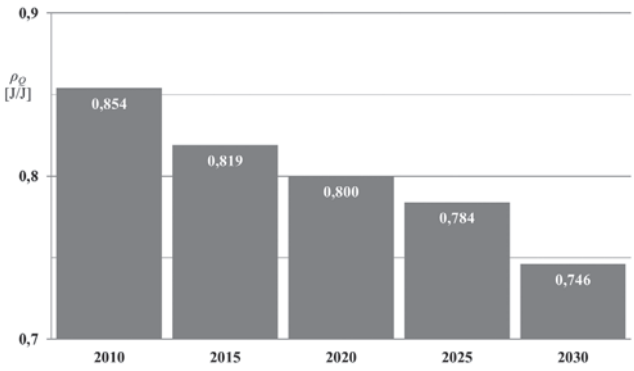
Korzystna jest tendencja rosnącej o 1,6 punktu procentowego sprawności transformacji i przesyłania energii elektrycznej w Polsce (tu straty egzergii kosztują najwięcej [5]) (rys. 8). Rosnący udział wysokosprawnej kogeneracji (oszczędność energii pierwotnej osiąga 2 Mtoe/rok w roku 2030) powoduje, że koszt termoekologiczny scentralizowanej dostawy ciepła spada z 0,854 J/J (w roku 2010) do 0,746 J/J (w roku 2030) (rys. 9).



Rys. 7. Koszt termoekologiczny wytwarzania energii elektrycznej dla Polski i Unii Europejskiej w wybranych latach



Rys. 8. Sprawność transformacji i przesyłania energii elektrycznej dla Polski w wybranych latach



Rys. 9. Koszt termoekologiczny scentralizowanej dostawy ciepła dla Polski w wybranych latach

Podsumowanie i wnioski

Ze względu na opóźnienie w rozpoczęciu budowy podsystemu energetyki jądrowej w Polsce zarówno analizy właściwe, jak i porównawcze wykonano bez uwzględnienia energetyki jądrowej.

Z prognoz, jakie zawierają założenia polityki energetycznej Polski wynikają następujące pozytywne spostrzeżenia:

- widoczna jest tendencja poprawy struktury pozyskiwania energii pierwotnej; stosunek energii finalnej do energii pierwotnej (charakteryzujący stopień konwersji) wzrasta z wartości 69,7% (w roku 2010) do wartości 71,2% (w roku 2030);
- wskaźnik zrównoważonego rozwoju (stosunek kosztu termoekologicznego do egzergii właściwej) dla energii pierwotnej spada z wartości 0,88 w roku 2010 do wartości 0,822 w roku 2030, co świadczy o korzystnym efekcie zmniejszenia wyczerpywania zasobów energii nieodnawialnej;
- planowany postęp w technologiach elektroenergetycznych powoduje, że wskaźnik kosztu termoekologicznego elektryczności spada w roku 2030 o około 35% w porównaniu z rokiem 2010;
- sprawność transformacji i przesyłania elektryczności wzrasta z 91,2% (w 2010 roku) do blisko 93% w roku 2030; jest to zgodne z jedną z reguł poprawy niedoskonałości procesów energetycznych [5] (*„poprawiaj tam, gdzie egzergia najdrożej kosztuje”*);
- na skutek planowanego wzrostu udziału wysokosprawnej kogeneracji wskaźnik kosztu termoekologicznego ciepła scentralizowanego obniża się z około 0,85 J/J (w roku 2010) do wartości poniżej 0,75 J/J (w roku 2030).

Poprawa efektywności energetycznej stanowi najbardziej skuteczny i najszybszy sposób zmniejszenia wyczerpywania nieodnawialnych źródeł energii pierwotnej i skutkiem tego ograniczenia emisji szkodliwych substancji. Wśród sposobów racjonalizacji energii prowadzących do poprawy efektywności energetycznej, poprawa niedoskonałości termodynamicznej jest pierwotnym działaniem prowadzącym w konsekwencji do poprawy sprawności wytwarzania, przetwarzania i użytkowania nośników energii. Użytecznym narzędziem jest w tym przypadku egzergia, której zastosowanie w analizie termoekologicznej pozwala ocenić poziom wyczerpywania nieodnawialnych źródeł energii pierwotnej, a w ostatecznym wyniku stopień bezpieczeństwa energetycznego.

Analiza porównawcza wyników prognozy dla Polski i Unii Europejskiej, mimo pozytywnych tendencji w polskiej polityce energetycznej wskazuje, że w okresie do roku 2030 korzystniejsze wartości wskaźników termoekologicznych energii pierwotnej i głównego nośnika energii finalnej (energii elektrycznej) odnotowuje się dla Unii Europejskiej jako grupy 27 krajów aniżeli w przypadku Polski. Godne jest jednak podkreślenie, że różnice te mają tendencję malejącą.

Warto zwrócić uwagę, że obok wysiłków na rzecz ograniczenia globalnych zmian klimatu Unia Europejska kieruje swoją uwagę na podstawowe elementy bezpieczeństwa energetycznego [14]:

1) konieczne są środki, które pomogą zrealizować dywersyfikację dostaw gazu państwom członkowskim w znacznym stopniu zależnym od jednego dostawcy; należy wzmocnić istniejące mechanizmy solidarności w przypadku kryzysu; strategiczne rezerwy gazu, podwyższone dzięki nowym magazynom, zwiększą poziom bezpieczeństwa energetycznego;
2) unijny mechanizm strategicznych rezerw ropy naftowej skoordynowany z rezerwami innych krajów należących do OECD powinien być zachowany, a nawet udoskonalony w kontekście kontroli wielkości rezerw;
3) rozwój połączeń transgranicznych w elektroenergetyce zagwarantuje bezpieczeństwo dostaw elektryczności.

Wniosek, który powinien stanowić zamknięcie podjętego w artykule tematu to stwierdzenie, że analizy termodynamiczne nie tylko mogą być, ale są skutecznym narzędziem oceny założeń polityki energetycznej, w tym bezpieczeństwa energetycznego, zarówno pojedynczych krajów, jak i Unii Europejskiej.

PIŚMIENNICTWO

[1] Weizsäcker E.U., Lovins A.B., Lovins L.H.: Mnożnik Cztery – Podwójny dobrobyt – Dwukrotnie mniejsze zużycie zasobów naturalnych. Tłumaczenie z niemieckiego. Wyd. Rolewski, Toruń 1999.
[2] Szargut J.: Application of exergy for the calculation of ecological cost. Bulletin of the Polish Academy of Sciences, *Technical Sciences* 1986, 43(7-8),475-480.
[3] Szargut J.: Exergy method. Technical and ecological applications. Southampton, Boston, WIT Press 2005.
[4] Stanek W.: Metodyka oceny skutków ekologicznych w procesach cieplnych za pomocą analizy egzergetycznej. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009.
[5] Szargut J., Ziębik A.: Podstawy energetyki cieplnej. PWN, Warszawa 2000.
[6] Ziębik A.: Thermodynamic motivation of the Polish energy policy. *Archives of Thermodynamics* 2012, 33(4),3-21.
[7] Ziębik A.: Bezpieczeństwo energetyczne Polski – próba oceny termodynamicznej. Rozdział 6 [w:] „Termodynamika w historii i problemach współczesnego świata”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2014.
[8] Prawo energetyczne – tekst jednolity z 12.02.2015.
[9] Założenia polityki energetycznej Polski do roku 2030. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa 10.11.2009.
[10] Strategia. Bezpieczeństwo energetyczne i środowisko – perspektywa do 2020. Ministerstwo Gospodarki i Ministerstwo Środowiska. Warszawa, kwiecień 2014.
[11] Projekt polityki energetycznej Polski do 2050 roku. Wersja 01. Ministerstwo Gospodarki. Warszawa, kwiecień 2014.

[12] Ustawa z dnia 15.04.2011 r. o efektywności energetycznej. Opracowano na podstawie Dz. U. z 2011 r. Nr 94, poz. 511.
[13] Energy Efficiency and its contribution to energy security and the 2030 Framework for climate and energy policy. Communication from the Commission to the European Parliament and the Council, COM(2014) 520 final. Brussels, 23.07.2014.
[14] European Energy Security Strategy. Communication from the Commission to the European Parliament and the Council, COM(2014) 330 final. Brussels, 28.05.2014.
[15] A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM(2014) 15 final. Brussels, 22.01.2015.
[16] Limiting Global Climate Change to 2 degrees Celsius The way ahead for 2020 and beyond. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM(2007) 2 final. Brussels, 10.01.2007.
[17] Michalak E.: Unia Energetyczna – kierunki zmian polityki Unii Europejskiej w sektorze energii elektrycznej. *Energetyka* 2015, 7, 457-463.
[18] Green Paper on Energy Efficiency or Doing More With Less Commission of the European Communities, COM (2005) 265 final. Brussels, 22.06.2005.
[19] Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council, on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC. The European Parliament and the Council of the European Union, Directive 2012/27/EU. Brussels, 25.10.2012.
[20] Energy Union Package. A Framework Strategy for a Resilient Energy Union with a Forward-Looking Climate Change Policy. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee, the Committee of the Regions and the European Investment Bank, COM(2015) 80 final. Brussels, 25.02.2015.
[21] Directive 2004/8/EC of the European Parliament and of the Council, on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market and amending Directive 92/42/EEC. The European Parliament and the Council of the European Union, Directive 2004/8/EC. Brussels, 11.02.2004.
[22] Ziębik A., Szargut J., Stanek W. (red.): Analiza możliwości zmniejszenia niedoskonałości termodynamicznej procesów zaopatrzenia w elektryczność, ciepło i chłód w aspekcie zrównoważonego rozwoju kraju. Ekspertyza Komitetu Termodynamiki i Spalania PAN. PAN, Warszawa 2006.
[23] Chmielniak T.: Technologie energetyczne. WNT, Warszawa 2008.
[24] Ziębik A, Hoinka K.: Energy Systems of Complex Buildings. Springer-Verlag, London 2013.
[25] Żmijewski K.: Raport z konferencji Power Ring 2011 – Energy Roadmap 2050. Europejska polityka energetyczno-klimatyczna a polskie cele gospodarki niskoemisyjnej. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa 2011.
[26] International Energy Agency 2012. World Energy Outlook 2012, Available from http://www.worldenergyoutlook.org/.
[27] Czarnowska L.: Thermo-ecological cost of selected products with emphasis on external environmental costs. Praca doktorska, Politechnika Śląska i National Technical University of Athens. Gliwice, Polska, 2014.
[28] Piekarczyk W., Czarnowska L., Ptasiński K., Stanek W.: Thermodynamic evaluation of biomass-to-biofuels production systems. *Energy* 2013, 62, 95-104.

POD PATRONATEM HONOROWYM

Polskiego Komitetu Bezpieczeństwa w Elektryce oraz Oddziału Wrocławskiego SEP

Katedra Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej organizuje

XX Konferencję naukowo-techniczną

BEZPIECZEŃSTWO ELEKTRYCZNE ELSAF 2015

w dniach 23 - 25 września 2015 r. w Szklarskiej Porębie

TEMATYKA KONFERENCJI:
- ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym,
- ochrona przed oddziaływaniem pól elektromagnetycznych,
- ochrona przed oddziaływaniem elektryczności statycznej,
- ochrona odgromowa i przepięciowa,
- ochrona przed pożarami powodowanymi przez instalacje i urządzenia elektryczne.

Komitetowi Organizacyjnemu i Naukowo-Programowemu Konferencji przewodniczy prof. dr hab. inż. Zbigniew Wróblewski

KONTAKT

dr inż. Marek Jaworski,
Politechnika Wrocławska, Katedra Energoelektryki,
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

tel. 71 320 37 68, 603 290 090
e-mail: elsaf@pwr.wroc.pl
http://elsaf.pwr.wroc.pl