

DREWNO JAKO SUROWIEC ENERGETYCZNY

(materiały wykładowe z Podstaw Produkcji Biopaliw na kierunku studiów Odnawialne Źródła Energii i Gospodarka Odpadami OZEiGO – Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie)
Opr. Tadeusz Juliszewski (Tadeusz.Juliszewski@urk.edu.pl)

Krótki rys historyczny

Drewno było wykorzystywane przez ludzi od zarania dziejów, odkąd potrafili samodzielnie wzniecać ogień. Spalone drewno ogrzewało pomieszczenia, gdzie przebywali ludzie, służyło także do przygotowania potraw. Na początku ery przemysłowej (XIX wiek) drewno było także podstawowym surowcem energetycznym — piece hutnicze wykorzystywały węgiel drzewny do wytopu żelaza z rudy (tak jak, np. w Kuźnicach w Zakopanem), a silniki parowe (np. w lokomotywach) wykorzystywały jako paliwo również drewno. Ludność zgromadziła więc wielowiekowe doświadczenie z wykorzystania drewna jako surowca energetycznego. Wiedza ta zawarta jest w dawniejszych i współczesnych publikacjach naukowych.

Powszechne stosowanie gazu ziemnego, ropy naftowej oraz węgla brunatnego i kamiennego zmniejszyło zapotrzebowanie drewna jako surowca energetycznego. Obecnie (2023 r.) zaledwie ok. 10% drewna pozyskiwanego z lasów w Polsce przeznaczona jest na cele energetyczne – zaś 90% drewna znajduje zastosowanie w wytwarzaniu około 30 000 różnych produktów rynkowych i przemysłowych (przede wszystkim budowlanych i meblarskich).

Powrót do szerszego wykorzystania drewna do celów grzewczych spowodowany jest specyficznymi, niezwykłymi, walorami jako paliwa.

Specyficzne walory drewna jako surowca energetycznego

Drewno jest paliwem odtwarzalnym, w odróżnieniu od nieodtwarzalnych paliw konwencjonalnych, tj. gazu, ropy naftowej i węgla. Dwutlenek węgla (CO_2) i woda (H_2O) wytwarzane w chemicznym procesie spalania zostają ponownie wbudowane w biomasę drzewną w procesach fotosyntezy. W ten sposób drewno jest odtwarzane w naturalnym procesie.

SPALANIE $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + n\text{H}_2\text{O}$ $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ - celuloza

FOTOSYNTeza $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$

Fotosynteza jest - jak powszechnie wiadomo - reakcją chemiczną, która wykorzystuje „bezpłatnie” energię promieniowania słonecznego. Elektromagnetyczne promieniowanie słońca zostaje przekształcone w chemiczne wiązania pierwiastków tworzących biomasę (głównie: C,H,O).

Nie ma zatem paliwa, alternatywnego wobec biomasy (w tym drewna), które utrzymuje obieg CO_2 w cyklu zamkniętym. Gaz ziemny, węgiel i ropa naftowa, spalane w kotłach i silnikach samochodowych, samolotowych, okrętowych etc., emitują do atmosfery dwutlenek węgla, który jest uważany za tzw. gaz cieplarniany. Dwutlenek węgla ze spalania tych paliw nie może być ponownie przekształcony w wiązania chemiczne paliw konwencjonalnych.

Uważa się dość powszechnie - choć opinie w tej sprawie są podzielone - że wzrost zawartości dwutlenku węgla emitowanego do atmosfery jest przyczyną zmian klimatycznych na Ziemi określanymi jako ocieplenie klimatu. Ten ekologiczny pogląd, tj. że wzrost ilości dwutlenku węgla w atmosferze powoduje

niepożądane dla ludzi zmiany klimatu, powinien zachęcać do coraz szerszego wykorzystania drewna do celów grzewczych. Niestety tak w Polsce nie jest. Brak jest zachęt do stosowania drewna do celów grzewczych (tak jak popiera się drewno jako paliwo grzewcze w wielu europejskich krajach), a nawet wprowadza się zakaz stosowania drewna (jak np. w Krakowie).

Jest swego rodzaju hipokryzją, gdy jednocześnie głosi się hasła ochrony naturalnego środowiska człowieka - zaleca powszechne stosowanie paliw odtwarzalnych (jak drewno) - a zarazem zakazuje się ich stosowania.

Drewno można długotrwale składować przechowując je do spalania w dowolnej porze roku. Lasy, a obecnie także tzw. plantacje roślin energetycznych (wierzba, topola, robinia akacjowa) są źródłem opału, jakie może pokryć lokalnie całkowite zapotrzebowanie na paliwo do celów grzewczych. Są tego liczne przykłady w Austrii, Szwajcarii, Włoszech, Niemczech i innych krajach w Europie.

Drewno można przetwarzać do takiej formy paliwa, jaka jest dostosowana do konstrukcji pieca, kotła, czy kominka. Może to być:

1. drewno kawałkowane
2. zrębki (rozdrobnione do 2 - 3 cm długości kawałki drewna),
3. brykiety
4. pelety
5. węgiel drzewny



Odpowiednio przygotowana do spalania forma biomasy drzewnej umożliwia automatyzację podawania tego paliwa do komory spalania. Podobnie jak w przypadku obsługi kotła gazowego, olejowego, lub kotła węglowego na tzw. ekogroszek, obsługa kotła na biomasę drzewną przez użytkownika polega zasadniczo tylko na uzupełnianiu paliwa w zasobniku (nawet co kilka dni).

Reasumując, podstawowe (choć nie jedyne) specyficzne zalety drewna, jako surowca energetycznego, to:

1. zamknięty obieg CO₂ w atmosferze, czyli jest to paliwo proekologiczne
2. możliwość długotrwałego składowania (magazynowania)
3. powszechna dostępność technologii do przetwarzania drewna (zrębkowanie, brykietowanie, peletowanie) do postaci odpowiadającej wymaganiom konstrukcyjnym i eksploatacyjnym kotłów.

Wady drewna, jako surowca paliwowego

Warto wady drewna rozważać w trochę filozoficznym ujęciu, a mianowicie: nie ma na tym świecie wytworów rąk ludzkich, które są bez wad... Żaden produkt przemysłowy, żadne paliwo (w tym także jądrowe — choć to określenie jest niewłaściwe, bo promieniotwórcze pierwiastki nie spalają się w sensie chemicznym) nie jest idealne.

Przykładowo: dość powszechnie używane określenie, że gaz ziemny jest czystym paliwem, jest równie trafne jak twierdzenie, że przezroczysta woda w większości polskich rzek jest czysta. Nie warto jednak tego sprawdzać pijąc nie przygotowaną wodę... Spalanie gazu ziemnego powoduje także emisję spalin (CO, CO₂, NO_x, HC).

Naturalną wadą drewna jest duża zawartość w nim wody. Świeżo ścięte drzewo zawiera w sobie ok. 50% wody (niewielka jest różnica wilgotności, gdy drewno ścina się zimą, czy latem). Zatem w 1 kg pnia, czy gałęzi drewna, jest — zaraz po ścięciu — około 0,5 kg wody (0,5 l). Gdyby próbować spalać takie drewno, to (z trudem i dużą ilością gryzącego dymu) spalane byłoby tylko 0,5 kg biomasy. 0,5 litra wody zanim zamieni się w parę wodną, zużyje część wytwarzanego ciepła podczas spalania na podgrzanie i odparowanie. Tą naturalną wodę drzewną usuwa się jednak skutecznie — i dość szybko — sezonując je, tj. poddając naturalnemu suszeniu. Po ok. 1-rocznym umiejętnym sezonowaniu (pod zadaszeniem, w przewiewnym miejscu i ekspozycji na działanie promieni słonecznych) zawartość wody spada do ok. 20%. Drewno o tej zawartości, tj. 20% i niżej, nadaje się do spalania i nie będzie emitować do atmosfery większej ilości spalin, niż dopuszczają to normy emisji przy spalaniu paliw w piecach, kotłach i kominkach.

Wadą drewna, nie naturalną, lecz spowodowaną przez człowieka, jest to że bywa niekiedy wykorzystywane jako opał po zastosowaniu budowlanym lub meblarskim. Drewno nasycone lakierami, bejcami, impregnatami, klejami, etc. nie jest paliwem kotłowym! Niestety, wśród producentów brykietów i pelletów są też tacy, którzy do ich formowania – oprócz biomasy - dodają odpady z tworzyw sztucznych, zużyte oleje i inne nie-biomasowe dodatki. Spalanie takiego, chemicznie nasyconego drewna, jest wykroczeniem, gdyż zagraża zdrowiu ludzi. Niestety, ta karygodna działalność jest wciąż bezkarna i jest jedną z przyczyn nieuzasadnionego oporu wobec propagowania drewna jako opału. Drewno nasycone chemikaliami powinno być utylizowane znanymi sposobami, a nie spalane w piecach czy kominkach. Przeciwdziałanie tej karygodnej działalności nie powinno polegać na całkowitym zakazie spalania drewna w piecach, kominkach i kotłach. To przecież przypominałoby wprowadzenie całkowitego zakazu eksploatacji samochodów z silnikami wykorzystującymi (Diesla) tylko dlatego, że są wśród użytkowników tych samochodów także tacy, którzy zamiast oleju napędowego wlewają do zbiornika paliwa (tańszy) olej opałowy.

Reasumując:

Podstawowa i w zasadzie jedyna, naturalna wada drewna jako stałego paliwa, to duża wilgotność (duża zawartość wody). Wodę tę łatwo usunąć z drewna poprzez naturalne sezonowanie.

Co to jest spalanie ?

Przypomnienie wyjaśnienia pojęcia: spalanie - wydaje się zbędne i banalne. Wyjaśnienie tego procesu chemicznego jest jednak konieczne, gdyż wielu ludzi uważa iż spalanie jest tylko wtedy, gdy są widoczne, lub wyczuwalne węchem, spaliny. Dlatego panuje dość powszechna — błędna — opinia, że czystymi paliwami jest gaz ziemny, lub olej opałowy, a „brudnym” paliwem jest węgiel i drewno.

Spalanie drewna jest procesem pirolitycznym: skutkiem dostarczenia odpowiedniej ilości ciepła do drewna następuje jego termiczny rozkład na gazy, które zaczynają się palić. Inaczej ten proces wyjaśniając: drewno jako takie NIE PALI SIĘ; płomieniem palą się gazy powstałe w procesie pirolizy. Warto też zwrócić uwagę, że węgiel drzewny nie pali się płomieniem, lecz żarzy.

W obrocie handlowym są także kotły w których drewno przed spaleniem ulega, tzw. zgazowaniu, tj. w procesie termicznego (beztlenowego) rozkładu, ulega przekształceniu ze stanu stałego w stan gazowy. Tzw. gaz generatorowy (czadnicowy, drzewny – *Holzgas* z j. niem.), którego jednym z podstawowych składników jest tlenek węgla (CO, czad), staje się wtedy paliwem kotłowym.



Spalanie jest procesem chemicznym podczas którego następuje połączenie tlenu (z atmosfery) z węglem i wodorem (w każdym paliwie, oprócz węgla kamiennego i brunatnego, gdzie z tlenem łączy się tylko węgiel, gdyż wodoru w węglu kamiennym, czy brunatnym, nie ma). Połączenie tlenu z węglem i wodorem jest reakcją egzotermiczną, tj. reakcją powodującą wydzielanie się ciepła podczas powstawania nowych związków chemicznych, a mianowicie:

- z węgla powstaje dwutlenek węgla (CO_2),
- z wodoru woda (H_2O).

Zatem z metanu (CH_4) zawartego w gazie ziemnym powstaje CO_2 i H_2O , z oleju opałowego (C_nH_m) powstaje CO_2 i H_2O , z celulozy drewna ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$)_n powstaje CO_2 i H_2O .

Produktami spalania są także i inne związki chemiczne, a mianowicie (1) tlenek węgla (CO), (2) tzw. lotne związki organiczne węgla (OGC), (3) tlenki azotu, (4) tlenki siarki (SO_x) i (5) pył. W prawidłowo eksploatowanym kotle na drewno (tzw. klasy EKODESIGN, EKOPROJEKT) emisja tych związków chemicznych jest na poziomie dopuszczalnym przez normy (podobnie jak emisja tych związków z kotłów na gaz ziemny, olej opałowy czy tzw. ekogroszek węglowy).

Tlenek węgla (CO), czad, powstaje zawsze podczas spalania każdego paliwa – w większej, lub mniejszej ilości – gdyż do spalenia cząsteczki każdego paliwa potrzeba więcej czasu, niż cząsteczki paliwa przebywają w komorze spalania. Wydłużenie czasu spalania utrudnia ciągle wytwarzanie energii ciepła na pożądanym

poziomie. Dostarczenie większej ilości tlenu (niż jest go w atmosferycznym powietrzu) do komory spalania jest także technicznie utrudnione. Do komory spalania (kotła, czy silnika spalinowego) dostarcza się więc kolejne porcje paliwa, mimo, że wcześniej wprowadzone paliwo do komory spalania nie zostało jeszcze w pełni spalane (tj. w pełni utlenione).

Lotne związki organiczne węgla (OGC) powstają, gdy dopływ tlenu do komory spalania w kotle jest niewystarczający. Odpowiedniej wielkości komora spalania (tj. odpowiednia dla wytworzenia pożądanej ilości ciepła), odpowiedni dobrany dopływ powietrza (tlenu) do ilości wprowadzanego paliwa do komory spalania, redukuje ilość OGC w spalinach.

Tlenki azotu (NO_x) powstają zasadniczo z tlenu atmosferycznego i azotu atmosferycznego, a nie z paliwa, które azotu (N) na ogół nie zawiera. Niewielkie ilości azotu w biomase drewna są bez praktycznego znaczenia dla emisji NO_x w spalinach.

Reakcja chemiczna powstawania tlenków azotu jest endotermiczna, tzn. wymaga dostarczenia energii z zewnątrz. Już w temperaturze 300°C tworzą się tlenki azotu a ich ilość wzrasta wraz z temperaturą w komorze spalania.

Tlenki siarki powstają, gdy w paliwie zawarta jest siarka. Zawartość siarki w drewnie wynosi poniżej 0,05% (w węglu ok. 0,8%, a w oleju opalowym ok. 0,1%, a nawet w gazie ziemnym – mimo odsiarczania – siarka występuje w postaci siarkowodoru). Spalanie drewna nie powoduje więc emisji tych składników, tj. tlenków siarki, w stopniu większym niż inne paliwa.

Pył ulatujący wraz ze spalinami do atmosfery jest niewidoczny dla oka, gdyż jego cząsteczki są zbyt małe (cząsteczki określane symbolem PM 2,5 mają wymiar poniżej 2,5 mikrometra, tj. 0,000001 m, czyli 1/1000 milimetra). Główną przyczyną powstawania tego pyłu jest zawartość popiołu w paliwie (w drewnie zawartość popiołu wynosi ok. 1%, a w węglu nawet 10-krotnie większa).

Dobrze wysuszone drewno (o zawartości wody mniejszej niż 20%) powinno być spalane w kotłach, które spełniają wymagania normatywne emisji spalin. Obecnie (od 1go stycznia 2022 roku) obowiązujące normy (PN – EN 303 – 5:2012) w państwach Unii Europejskiej obejmują emisję spalin wyrażoną w miligramach (0,001 g) na 1 m^3 spalin (**mg/m³**).

Dla kotłów zasilanych automatycznie są to następujące dopuszczalne wartości: **pył**: 40 mg/m^3 , **organiczne związki węglowe** 20 mg/m^3 , **tlenek węgla (CO)** 500 mg/m^3 , **tlenki azotu (NO_x)** 200 mg/m^3 . Dodatkowo kotły powinny charakteryzować się odpowiednią tzw. sezonową sprawnością energetyczną.

Kotły EKODESIGN (EKOPROJEKT) spełniają powyższe wymagania normatywne.

Błędy popełniane przy spalaniu drewna

Errare humanum est...

Propagując wykorzystanie drewna popełniane były pomyłki, czego skutkiem są wciąż problemy z powszechnym stosowaniem tego jedyngo – odtwarzalnego i ekologicznego – paliwa. Oto lista tych podstawowych błędów:

- (a) brak instruktażu (edukacji) jak racjonalnie spalać drewno,
- (b) propagowanie współspalania drewna (z węglem),
- (c) przyjmowanie iż drewno jest takim samym paliwem STAŁYM jak węgiel,
- (d) wykorzystanie drewna jako paliwa w blokach energetycznych o dużej mocy (np. powyżej 200 MW),
- (e) brak kompleksowej oceny tego paliwa, przede wszystkim w kontekście logistyki dostaw i opłacalności stosowania.

Popełniane w przeszłości błędy wciąż, niestety, jeszcze występują.

Spalanie drewna mokrego w kotłach niższej klasy, lub zgoła zbudowanych sposobem gospodarczym, powoduje większe niż dopuszczalne emisje spalin do atmosfery. Dopuszczone do obrotu handlowego kotły EKODESGN powinny posiadać poniższe przykładowe oznaczenie:



Drewno w kominku, piecu, czy kotle powinno być zapalane OD GÓRY, a nie od dołu. Podpalanie drewna OD GÓRY inicjuje pirolizę i bezdymowe spalanie suchego drewna. Podpalanie drewna od dołu ZAWSZE spowoduje widoczny dym, zwłaszcza na początku palenia. Warto zobaczyć w filmach umieszczonych na Youtube jak prawidłowo inicjować spalanie drewna i zastosować się do przedstawianego tam instruktażu. Filmy takie zamieszcza, między innymi, Ogólnopolskie Stowarzyszenie „Kominki i Piece”, tj. producentów urządzeń do ogrzewania drewnem.

Warto dodać, że budową nowoczesnych kominków i pieców kuchennych oraz grzewczych (z kafli) zajmują się w Polsce wykwalifikowani zdunowie. Cech Zdunów Polskich przygotowuje do tego zawodu kadry poprzez organizowane szkolenia i egzaminy czeladnicze.

Jakość pelletów drzewnych jest normowana – organizacyjnie zajmuje się tym Polska Rada Pelletu.

Drewno nie powinno być współspalanie z węglem, gdyż są to paliwa ZASADNICZO różne pod względem fizycznym i chemicznym. Jedyne co je łączy to nazwa stanu fizycznego: węgiel i drewno są paliwami stałymi.

Podstawowymi, chemicznymi, składnikami drewna są pierwiastki: węgiel (C), wodór (H) i tlen (O).

Podstawowym, chemicznym, składnikiem węgla kamiennego jest pierwiastek węgiel (C).

Drewno zawiera ok. 2 % niepalnych składników (popiołu).

Węgiel kamienny zawiera ok. 12 % popiołu.

W drewnie zawsze jest zawarta woda; w węglu wody praktycznie nie ma.

Wartość opałowa suchego drewna (poniżej 20%) wynosi ok. 15 MJ/kg, a węgla ok. 25 MJ/kg.

Nb. warto pamiętać, że w obrocie handlowym drewno sprzedawane jest zwykle w jednostkach objętości (w tzw. metrach przestrzennych – symbol: mp). Metr przestrzenny drewna oznacza jego stos, gdzie pomiędzy ułożonym drewnem, są także wolne przestrzenie. 1 metr przestrzenny drewna (1 mp) to ok. 0,7 objętości drewna (a ok. 30% to wolne przestrzenie). Drewno twarde (dąb, buk) ma wartość opałową ok. 7,5 GJ/mp, a drewno miękkie (świerk, sosna) o. 6,0 GJ/mp.



Bardzo dużą sprawność energetyczną kotłów (powyżej 90%) osiągnięto poprzez WZAJEMNE dostosowanie konstrukcji kotłów i paliw (podobnie jak osiągnięto wysoką sprawność silników spalinowych poprzez wzajemne dostosowanie silników do jakości benzyny i oleju napędowego). Kocioł dostosowany konstrukcyjnie do spalania węgla nie uzyska nigdy takiej samej sprawności, gdy będzie zasilany drewnem lub mieszanką drewna i węgla. Ponadto emisja spalin ze spalania mieszaniny węgla i drewna będzie większa niż przy spalaniu samego węgla (przypomnijmy: drewno przed spaleniem ulega pirolizie). Dodatkowym problemem jest korozja komory spalania i wymienników ciepła, gdy spalanie drewna połączone jest z, tzw. agrobiomasą (np. słomą). Z inżynierskiego punktu widzenia współspalanie drewna i węgla (np. w ciepłowniach) jest fizycznie możliwe, ale nieracjonalne.

Jak już przedstawiono powyżej drewno różni się zasadniczo – chemicznie i fizycznie – od węgla. Mimo to w niektórych gremiach decyzyjnych (np. samorządowych) przyjmuje się, że jest to takie samo paliwo stałe. Zakaz stosowania kotłów grzewczych na węgiel rozciąga się – bez żadnego racjonalnego fizycznie i chemicznie uzasadnienia – także na drewno (biomasę). Zdaje się, że tylko cierpliwe wyjaśnianie błędów w równoważnym traktowaniu węgla i drewna, może przynieść tutaj zmianę podejścia do podejmowania, tzw. decyzji antysmogowych.

Wiele elektrowni w Europie (nie tylko w Polsce) wykorzystuje węgiel, jako paliwo w blokach energetycznych dużej mocy. Nb. w Niemczech, buduje się obecnie kopalnię węgla brunatnego dla pozyskania paliwa w takiej elektrowni. Blok energetyczny o mocy ok. 200 megawatów zużywa na dobę ponad 4000 ton biomasy. Przyjmując, że ilość biomasy wytwarzana w procesie fotosyntezy wynosi 10 – 20 ton rocznie z powierzchni 1 hektara, to do pokrycia dziennego zapotrzebowania potrzeba zebrać – i przewieźć do elektrowni - biomasę z powierzchni 20 – 40 hektarów. Blok energetyczny pracuje rocznie ok. 8000 godzin. Oznacza to, że paliwo (biomasa) do bloku o mocy ok. 200 MW wymaga pozyskania z ok. 6700 ha – 13300 hektarów. Transport tak dużej ilości biomasy na duże odległości jest bardzo wątpliwy w kontekście zużycia paliwa przez środki transportowe. Biomasę, w tym drewno, należy zużywać lokalnie, co redukuje nakłady energetyczne na jej przewożenie.

Wykorzystanie drewna jako substytutu paliw konwencjonalnych (tradycyjnych) powinno uwzględniać nie tylko aspekty ekologiczne i energetyczne: analiza ekonomiczna tego substytutu odgrywa tutaj znaczenie zasadnicze. Pewność dostaw paliwa (drewna) po cenie choćby porównywalnej (a jeszcze lepiej konkurencyjnej) z węglem, olejem opałowym, czy gazem ziemnym będzie zawsze odgrywała rolę decydującą dla inwestora. Dotyczy to także inwestorów zakładających, tzw. plantacje roślin energetycznych. Wielu z nich doznało przykrego rozczarowania, gdy tzw. „zielone złoto” (jako substytut „czarnego złota”, tj. węgla) pozostało z biomasą wierzbę energetycznej i topoli bez możliwości zyskowego zbytu drewna, a nawet zbytu biomasy w ogóle.

Podsumowanie:

Wartość opałowa drewna o wilgotności 20 %, tj. drewna odpowiedniego do spalania w piecach, kotłach i kominkach, wynosi ok. 15 MJ/kg. Wartość opałowa drewna zależna jest od gatunku drzew, z których opał jest pozyskiwany: drewno bukowe i dębowe jest o ok. 30% bardziej kaloryczne niż drewno świerkowe i sosnowe.

Kotły i kominki EKODESIGN – jako jedyne dopuszczone do sprzedaży – spełniają ekologiczne normy emisji spalin. Spalane w nich odpowiednie jakościowo drewno (pellety, brykiety) nie zagrażają emisją spalin ludziom i środowisku przyrodniczemu.

Drewno jest jedynym paliwem jakie utrzymuje obieg dwutlenku węgla (CO₂) w obiegu zamkniętym. Każde inne paliwo, w tym także gaz ziemny, zwiększa ilość tego cieplarnianego gazu (CO₂) w atmosferze.

Drewno wykorzystywane jako opał może lokalnie pokryć potrzeby grzewcze nawetw kilkudziesięciu procentach. W przypadku domów jednorodzinnych może te potrzeby pokryć w pełni (w 100%). Spalanie drewna do ogrzewania pomieszczeń nie rozwiąże wszystkich problemów energetycznych w kraju, lecz może zapewnić w dużym stopniu bezpieczeństwo energetyczne i łągodzić, tzw. ubóstwo energetyczne.