

# 9

## WŁAŚCIWOŚCI WĘGLA KAMIENNEGO I OKREŚLAJĄCE JE WSKAŹNIKI PRZYDATNOŚCI

### 9.1 WSTĘP

Polska posiada stosunkowo duże zasoby węgla kamiennego i brunatnego, przy równocześnie niewielkich zasobach ropy naftowej i gazu ziemnego.

Paliwo węglowe jest aktualnym gwarantem naszego bezpieczeństwa energetycznego. Przy ocenie użyteczności paliw, a w szczególności węgla kamiennego, konieczne jest przeprowadzenie wielokryterialnej oceny ich właściwości.

W pracy wyznaczono wskaźniki umożliwiające ocenę paliwa ze względu na właściwości:

- energetyczne,
- ekologiczne,
- ekonomiczne,
- społeczne.

W niniejszym opracowaniu podjęto próbę wyznaczenia wskaźników charakteryzujących właściwości węgla kamiennego o wartości opalowej 24,4 MJ/kg,

### 9.2 KALORYCZNOŚĆ JAKO CECHA DETERMINUJĄCA JAKOŚĆ PALIWA

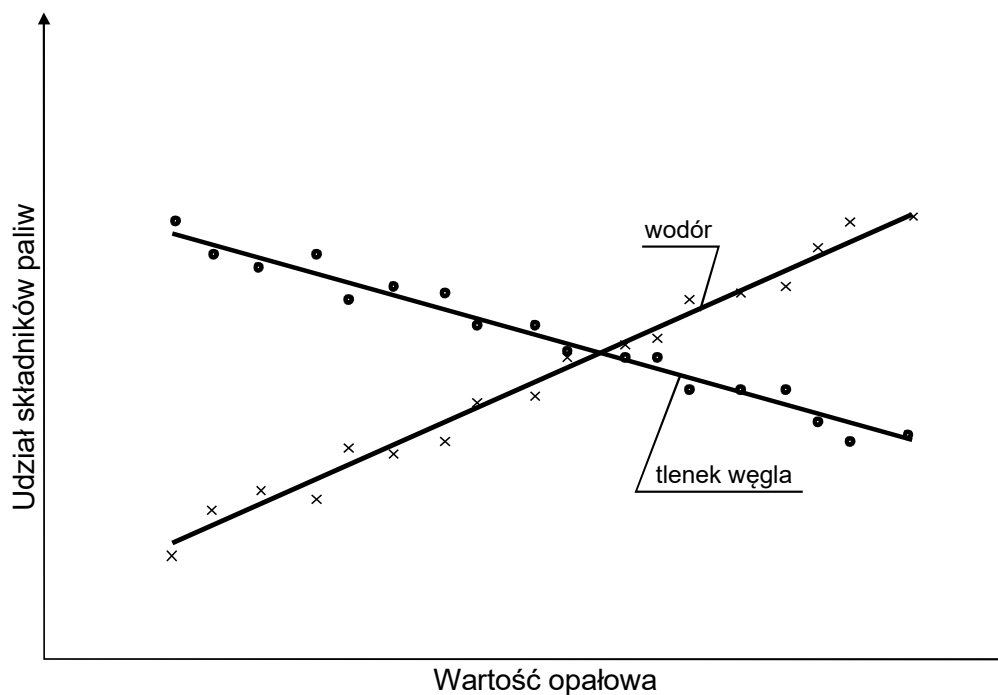
W warunkach normalnych tzn. przy ciśnieniu 0,1 MPa i temperaturze 25°C, jakość paliwa określa jego skład. Znajomość udziału składników w paliwie pozwala na określenie innych wskaźników niezbędnych do kontroli procesu spalania, wymiany ciepła, skutków ekologicznych, kosztów ekonomicznych, stanu urządzeń technicznych, itp.

Jednym z takich wskaźników jest wartość opałowa, tzn. ilość ciepła, która jest odprowadzana z komory spalania po pełnym i całkowitym spalaniu jednostki paliwa, jeżeli spalanie odbyło się pod stałym ciśnieniem, spaliny zaś zostały ochłodzone do temperatury początkowej substratów, przy czym woda zawarta w spalinach nie ulega wykropleniu [13]. Ze względu na ostatnie dwa warunki wartość opałowa nie jest parametrem mierzalnym. Nie można bowiem ochłodzić spalin do początkowej temperatury nie powodując równocześnie wykroplenia wody ze spalin. Mierzalnym parametrem jest natomiast ciepło spalania (stosowane powszechnie w

krajach anglosaskich) różniące się od wartości opalowej tym, że para wodna utworzona w procesie spalania paliwa ulega całkowitemu wykropleniu. W żargonie technicznym wartość opalowa i/lub ciepło spalania nazywa się kalorycznością paliwa. W dalszej części niniejszego opracowania, kaloryczność będzie synonimem wartości opalowej.

Wartość opalową paliw stałych i ciekłych zwykle się wyznaczać ze wzoru Dulonga, w przypadku paliw gazowych określać ją jako sumę iloczynów udziałów molowych składników tych paliw oraz ich wartości opałowych [13]. Ciepło spalania może być określone laboratoryjnie w tzw. bombie kalorymetrycznej.

Dla danego paliwa jego wartość opałowa oraz większość wskaźników określających jego właściwości mogą być jednoznacznie wyznaczone przy znanym jego składzie. Równocześnie stwierdzono [6], że prawdopodobny udział składników, dla określonego rodzaju paliwa, można określić na drodze analiz statystycznych (rys. 9.1). Probabilistyczny charakter uzyskanych w ten sposób wyników wynika z możliwości rekompensaty mniejszego udziału jednego ze składników palnych większym udziałem innego czynnika.



Rys. 9.1 Przykładowa zależność udziałów składników paliwa od jego wartości opalowej (na przykładzie paliwa gazowego)

Ponieważ udziały składników zależą od wartości opalowej, należy ją uznać za wskaźnik determinujący większość właściwości paliwa. Ponieważ udziały składników jest ściśle związany z wartością opalową, należy ją uznać za wskaźnik determinujący większość właściwości paliwa. Powyższa hipoteza została potwierdzona w badaniach Rosina-Fehlina (np. [11, 15]) nad teoretycznym zapotrzebowaniem powietrza do spalania paliwa stałego oraz przez wyniki badań

podanych w [5] dotyczących teoretycznego zapotrzebowania powietrza oraz teoretycznych ilości spalin dla paliw stałych, ciekłych i gazowych. Dlatego jednostkę kaloryczności (1 MJ) uznano w dalszych analizach wielkości odniesienia przy obliczaniu wskaźników charakteryzujących właściwości paliw.

### **9.3 WŁAŚCIWOŚCI PALIW ORAZ OKREŚLAJĄCE JE WSKAŹNIKI PRZYDATNOŚCI**

#### **9.3.1 Właściwości energetyczne**

Za wskaźniki określające energetyczne właściwości paliw uznano:

- wartość opałową,
- ciepło spalania,
- egzergię paliwa,
- teoretyczne zapotrzebowanie powietrza do spalania,
- teoretyczną (minimalną) ilość uzyskanych spalin wilgotnych,
- temperaturę kalorymetryczną spalin,
- masę transportową paliwa.

Egzergia paliwa wynika z różnicy składu chemicznego w porównaniu z powszechnie występującymi składnikami otoczenia [13].

Teoretyczne zapotrzebowanie powietrza do spalania oraz teoretyczna ilość spalin są wielkościami obliczonymi przy stosunku nadmiaru powietrza do spalania  $\lambda = 1$ .

Temperatura kalorymetryczna spalin jest uzyskiwana w doskonale zaizolowanej komorze w efekcie zupełnego i całkowitego spalania paliwa.

Masa transportowa określa celowość przesłania paliwa od miejsca pozyskania do miejsca użytkowania.

#### **9.3.2 Właściwości ekologiczne paliw**

Jako wskaźniki porównawcze do oceny ekologicznej przyjęto wartości jednostkowe odniesione do wartości opalowej, następujących parametrów związanych z użytkowaniem paliw:

- emisji CO<sub>2</sub>,
- emisji SO<sub>2</sub>,
- zawartości popiołu.

#### **9.3.3 Właściwości ekonomiczne paliw**

Obiektywną właściwością ekonomiczną paliw jest koszt pozyskania (cena) jednostki ich energii chemicznej za którą uważa się wartość opałową. Ceny paliwa podlegają podstawowym prawom ekonomicznym i zależą od popytu i podaży określonych paliw na rynku zewnętrznym i wewnętrznym. Ceny na rynku wewnętrznym powinny pokryć koszt pozyskania paliw z własnych zasobów. Na rynku zewnętrznym ceny są ponadto elementem gry rynkowej i nacisków politycznych. Koszt paliwa jest bardzo istotnym elementem analizy kosztów (jakich?), dlatego powinien on uwzględniać opłaty związane z emisją czynników szkodliwych, w tym

zwłaszcza efekty związane z handlem uprawnieniami do emisji CO<sub>2</sub>. Bez określenia obiektywnych cen paliw nie można przeprowadzić żadnej prawidłowej analizy efektywności techniczno-ekonomicznej.

#### 9.3.4 Właściwości społeczne paliw

Dotychczas omówione wskaźniki miały wymierny charakter (ich wartości mogą być wyrażone przez konkretne liczby). Wskaźniki określające właściwości społeczne mają na ogół charakter trudno-wymierny, dotyczą bowiem wskaźników o charakterze jakościowym.

Można do nich zaliczyć:

- dostępność paliwa w zależności od zapotrzebowania,
- akceptację społeczną stosowania paliw,
- aktualna i perspektywiczna substytucyjność paliwa w poszczególnych jego zastosowaniach,
- zachowanie lub zwiększenie zatrudnienia,
- sprzyjanie rozwojowi technik IT.

Efekty trudno-wymierne zwykle się określać z wykorzystaniem metod eksperckich. Najpopularniejszym i najbardziej skodyfikowanym sposobem oceny jest metoda delficka. Przeprowadzenie analiz metodologicznych umożliwiających określenie właściwości socjologiczno-społecznych paliw autorzy niniejszego opracowania stawiają sobie jako jeden z celów przyszłych badań.

Wskaźniki zaliczane do niniejszej kategorii mogą mieć również wymierny charakter. Takim wskaźnikiem jest masa wydobytego rocznie paliwa np. węgla (w Mg) przypadającą na jednego zatrudnionego (tzw. wskaźnik wydajności). Interesująca jest również zmiana tego wskaźnika na przestrzeni lat. W tabeli 1 przedstawiono zmianę omawianego wskaźnika na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat, w odniesieniu do węgla kamiennego i brunatnego. W tabeli tej przedstawiono również liczbę zatrudnionych w górnictwie węgla kamiennego i brunatnego, oraz wielkość wydobycia obu paliw [2, 3, 4].

Na podstawie danych przedstawionych w tabeli 9.1, można stwierdzić, że w analizowanym okresie wydajność rosła zarówno w górnictwie węgla kamiennego (1.3 razy) jak i brunatnego (2.85 razy), przy czym wydobycie węgla kamiennego istotnie spadło (o ok. 35%), a węgla brunatnego utrzymywało się na zbliżonym poziomie. Tak więc wskaźniki zaliczane do tej grupy mogą charakteryzować się stosunkowo dużymi zmianami w czasie. Dodatkowym problemem związanym z określeniem użyteczności omawianego wskaźnika jest określenie liczby zatrudnionych, przyjmowanej do obliczeń. Czy przyjąć tylko bezpośrednio zatrudnionych przez kopalnie, czy w związku z zlecaniem coraz większej części procesów firmom zewnętrznym, uwzględnić wszystkich pracujących w danej branży. Według [7] obecnie w branży węgla brunatnego zatrudnionych jest 23.5 tys. osób.

Tabela 9.1 Roczne wydobycie węgla kamiennego i brunatnego przypadające na jednego zatrudnionego w latach 2000-2017

Pozycja	Jednostka	Rok			
		2000	2010	2015	2017
<b>Węgiel kamienny</b>					
Liczba zatrudnionych	tys.	149.6	105.6	81.2	73.7
Wydobycie	mln Mg	103.0	76.7	72.7	66.0
Wskaźnik	Mg/zatrudnionego	688	727	895	895
<b>Węgiel brunatny</b>					
Liczba zatrudnionych	tys.	24.7	16.3	9.6	8.9
Wydobycie	mln Mg	59.5	56.6	63.1	61.2
Wskaźnik	Mg/zatrudnionego	2410	3470	6570	6890

Źródło: opracowanie własne na podstawie [2, 3, 4]

Jeszcze trudniej jest jednoznacznie określić liczbę miejsc pracy wynikającą z całościowego wpływu danego typu działalności na zatrudnienie. Warto zauważyć, że zgodnie z [7] jedno miejsce pracy górnika generuje średnio cztery miejsca pracy w branżach okołogórnicznych i innych sektorach. Tak więc można szacować, że tylko górnictwo węgla brunatnego generuje ok. 95 tys. miejsc pracy.

### 9.3.5 Wskaźniki określające przydatność przykładowego węgla kamiennego

W tabeli 9.2 podano wartości liczbowe wskaźników określających przydatność węgla kamiennego o wartości opalowej  $W_d = 24.4$  MJ/kg.

Tabela 9.2 Wskaźniki określające przydatność przykładowego węgla kamiennego

Lp.	Nazwa wskaźnika	Jednostka	Wartość
<b>I. Właściwości energetyczne</b>			
1.	Ciepło spalania [1, 10, 12]	MJ/MJ	1.05
2.	Egzergia [13]	MJ/MJ	1.09
3.	Teoretyczne zapotrzebowanie powietrza [13, 14]	m <sup>3</sup> <sub>n</sub> /MJ	0.27
4.	Teoretyczna ilość spalin wilgotnych [13, 14]	m <sup>3</sup> <sub>n</sub> /MJ	0.256
5.	Masa transportowa [13, 14]	g/MJ	41
6.	Nadwyżka temperatury kalorymetrycznej nad otoczenie	K	1830
<b>II Właściwości ekologiczne</b>			
1.	Emisja CO <sub>2</sub> [9]	g/MJ	95
2.	Emisja SO <sub>2</sub> [10, 13, 14]	g/MJ	0.50
3.	Zawartość popiołu [13, 14]	g/MJ	8.20
<b>III Właściwości ekonomiczne</b>			
1	Cena paliwa [8]	gr/MJ	1.40
2	Opłata za uprawnienia do emisji CO <sub>2</sub> [8]	gr/MJ	1.02
3	Łączna cena	gr/MJ	2.42

Źródła: [1, 10, 12, 13, 14]

## 9.4 PODSUMOWANIE

1. W niniejszym opracowaniu wskazano na możliwość i konieczność wieloaspektowej oceny wartości paliw. Dotąd takie analizy przeprowadzono odrębnie dla każdego z przyjętych kryteriów. Autorzy starają się zwrócić uwagę na konieczność równoczesnego uwzględnienia wszystkich właściwości (kryteriów). Takie potraktowanie analizowanego zadania wymaga określenia

wagi właściwości w wartości paliwa oraz wagi wskaźników użyteczności w ramach poszczególnych właściwości.

2. Obok wymienionych właściwości istotną rolę odgrywają kryteria legislacyjne, polityczne, perspektywy rozwoju.
3. Wskaźniki przydatności mają charakter dynamiczny co dodatkowo komplikuje kwestię ich wykorzystania.
4. Zdaniem autorów rozwiązanie problemu wartości paliw jest jednym z podstawowych zadań racjonalnej lokalnej i krajowej polityki gospodarczej.

## LITERATURA

1. P. Bender, K. Błogowska. *Laboratorium termodynamiki*. Warszawa: OWPW, 2008.
2. Główny Urząd Statystyczny. *Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej 2007*. Warszawa: GUS, 2007.
3. Główny Urząd Statystyczny. *Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej 2018*. Warszawa: GUS, 2018.
4. Z. Kasztelewicz: *Raport o stanie branży węgla brunatnego w Polsce i w Niemczech wraz z diagnozą działań dla rozwoju tej branży w I połowie XXI wieku*. Kraków, kwiecień 2018. Internet: [https://gornictwo.wnp.pl/scenariusz-dla-węgla-brunatnego-100-000-miejsc-pracy-na-szali,324900\\_1\\_0\\_0.html](https://gornictwo.wnp.pl/scenariusz-dla-węgla-brunatnego-100-000-miejsc-pracy-na-szali,324900_1_0_0.html) [marzec, 2019].
5. J. Koziół. „Rozdział 6. Racjonalizacja użytkowania energii w zakładach przemysłowych” *Racjonalizacja działania kotłów parowych i wodnych*. Warszawa: Biblioteka Fundacji Poszanowania Energii, 1994.
6. J. Koziół. „Wartość opalowa jako parametr charakteryzujący jakość paliwa gazowego”. *Hutnik*, nr 8-9, str. 226-340, 1980.
7. Ministerstwo Energii. Program dla sektora górnictwa węgla brunatnego w Polsce. Warszawa, 2018. Internet: <https://www.gov.pl/web/energia/rada-ministrow-przyjela-program-dla-sektora-gornictwa-węgla-brunatnego-w-polsce> [marzec, 2019].
8. PAP/PSZ, wnp.pl. „Portal gospodarczy: Notowania metali bazowych węgla i paliw”. Internet: [https://gornictwo.wnp.pl/notowania-metali-bazowych-węgla-i-paliw,340581\\_1\\_0\\_0.html](https://gornictwo.wnp.pl/notowania-metali-bazowych-węgla-i-paliw,340581_1_0_0.html) [marzec, 2019].
9. S. Pasierba (praca zbiorowa pod kierownictwem). *Jak zarządzać energią i środowiskiem w badaniach użyteczności publicznej. Poradnik dla samorządów terytorialnych*. Katowice: FEWE, 2004.
10. R. Porowski. „Analiza metod określania ciepła spalania” *Zeszyty Naukowe SGSP*, nr 59/3, str.45-70, 2016. Internet: [yadda.icm.edu.pl/yadda/element/.../c/Porowski\\_Analiza\\_ZN\\_SGSP\\_Nr\\_59.pdf](http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/.../c/Porowski_Analiza_ZN_SGSP_Nr_59.pdf) [marzec, 2019].
11. F. Schuskr. *Verbrennungslehre*. München, Wien: Oldenburg Verlag, 1970.
12. *Sprawocznik maszynostroiciela*. t. 2. Moskwa: Maszgiz, 1955.
13. J. Szargut. *Termodynamika*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1974.
14. J. Szargut, A. Ziębik. *Podstawy energetyki cieplnej*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2000.
15. R. Ziółkowski, H. Górecki. „Rozdział 8. Kotły parowe i ich urządzenia pomocnicze” *Poradnik termoenergetyka*. Warszawa: WNT, 1974.

Data przesłania artykułu do Redakcji: 03.2019

Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 04.2019

## WŁAŚCIWOŚCI WĘGLA KAMIENNEGO I OKREŚLAJĄCE JE WSKAŹNIKI PRZYDATNOŚCI

**Streszczenie:** W pracy wskazano, że przy ocenie wartości węgla kamiennego należy co najmniej uwzględnić jego właściwości energetyczne, ekologiczne, ekonomiczne i społeczne. Przedstawiono propozycje wskaźników przydatności energetycznej charakteryzujące poszczególne właściwości. Ponadto wykazano, że parametrem określającym jakość paliwa może być jego kaloryczność (wartość opałowa).

**Słowa kluczowe:** właściwości paliwa, wskaźniki przydatności

## FUEL PROPERTIES AND THEIR SUITABILITY INDICATORS

**Abstract:** The paper indicates that its energy, ecological, economic and social properties should be considered when assessing the value of fuel. Suggestions of usefulness indicators characterizing particular properties were presented. In addition, it was shown that its calorific value can be considered as a parameter determining the quality of fuel.

**Key words:** fuel properties, suitability indicators

**Prof. dr hab. inż. Joachim Koziół**  
Uniwersytet Zielonogórski  
Wydział Budownictwa, Architektury  
i Inżynierii Środowiska  
Instytut Inżynierii Środowiska  
ul. Prof. Z. Szafrana 15,  
65-515 Zielona Góra, Polska  
tel. +48 683 282 682  
e-mail: kojo643@interia.pl

**dr inż. Michał Koziół**  
Politechnika Śląska  
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki  
Katedra Technologii i Urządzeń  
Zagospodarowania Odpadów  
ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, Polska  
tel. +4832 237 1123  
e-mail: michal.koziol@polsl.pl