

## EFFECTIVENESS EVALUATION OF HYBRID ENERGY SYSTEMS IN MIXED FLOW DRIERS

### Summary

The paper presents the problem of assessing the energy efficiency of hybrid power systems. Two hybrid power systems have been compared on the example of mixed flow drier. The evaluation method based on effectiveness indicators has been expanded on through additional indicators enabling a more complete comparison of different hybrid systems.

**Key words:** mixed flow driers, hybrid power systems, effectiveness indicators

## OCENA EFEKTYWNOŚCI HYBRYDOWYCH SYSTEMÓW ENERGETYCZNYCH W SUSZARKACH DASZKOWYCH

### Streszczenie

Przedstawiono problem oceny efektywności energetycznej hybrydowych systemów energetycznych. Na przykładzie suszarki daszkowej dokonano porównania dwóch hybrydowych generatorów ciepła. Do oceny zaproponowano metodę wykorzystującą wskaźniki efektywności, która została rozszerzona o dodatkowe wskaźniki umożliwiające pełniejsze porównanie różnych systemów hybrydowych.

**Słowa kluczowe:** suszarki daszkowe, hybrydowe systemy energetyczne, efektywność energetyczna, wskaźniki efektywności

### 1. Wprowadzenie

Suszenie zbóż pozostaje nadal procesem, dla którego nie ma dostatecznie korzystnej alternatywy. Umożliwia on odwodnienie oraz konserwację zbóż, jest jednak procesem energochłonnym, a co się z tym wiąże, bardzo kosztownym. Istnieje więc konieczność poszukiwania sposobów obniżenia zużycia energii na podgrzanie czynnika suszącego. Do efektywnych działań w tym zakresie można zaliczyć:

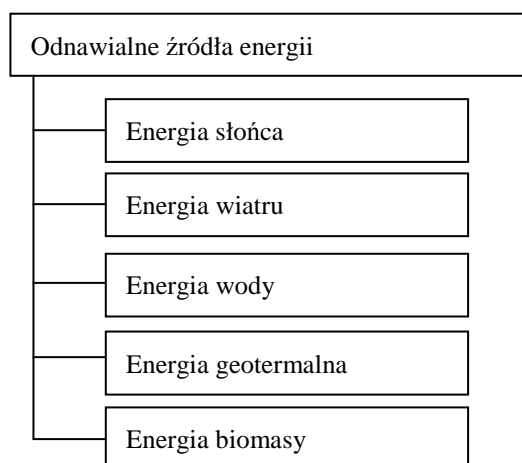
- pozyskiwanie energii ze źródeł odnawialnych, poprzez tworzenie hybrydowych generatorów ciepła,
- poszukiwanie takich konfiguracji suszących, które wykorzystują w sposób optymalny energię niekonwencjonalną.

### 2. Problem

Wzrastające ceny energii oraz zmieniające się przepisy prawne zwiększają zainteresowanie energią ze źródeł niekonwencjonalnych. Jednak różnorodność tych źródeł energii powoduje to, że wybór najlepszego w danych warunkach jest dużym problemem. Dodatkową komplikacją jest to, że energia ta jest pozyskiwana różnymi metodami, a także to, że z jednego źródła pozyskuje się różne rodzaje energii. Na rys. 1 przedstawiono podział odnawialnych źródeł energii.

Zróznicowanie źródeł energii niekonwencjonalnej oraz sposobów jej pozyskiwania powoduje trudności w wyborze najbardziej efektywnej konfiguracji w danych warunkach. Oprócz tego bywa, że ilość energii ze źródła niekonwencjonalnego jest zbyt mała i dla zaspokojenia potrzeb systemu należy dodatkowo dostarczać energię konwencjonalną.

Suszarki daszkowe, wśród urządzeń przeznaczonych do suszenia ziarna średnotemperaturowych systemów suszących, uznawane są zgodnie za najbardziej przydatne. Decydują o tym ich zalety, do których należą: prostota konstrukcji i obsługi, wielofunkcyjność i wysoka efektywność [1].

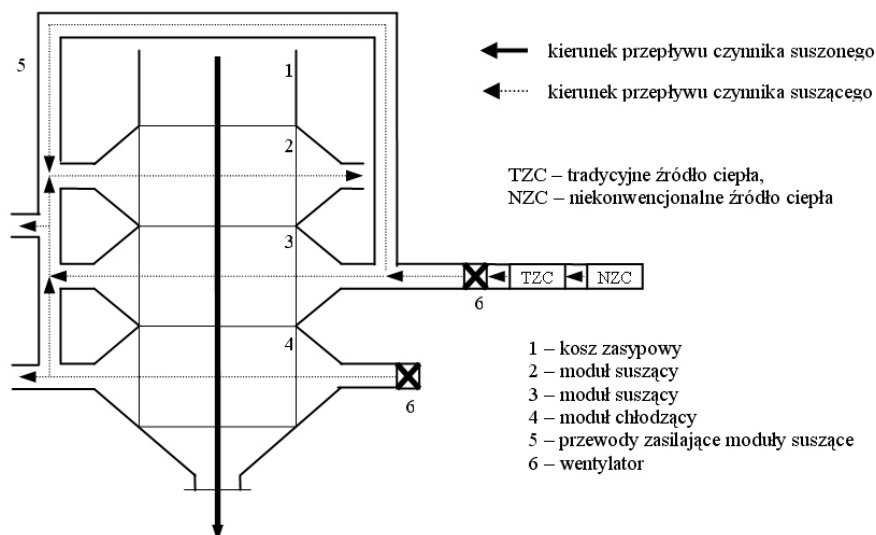


Rys. 1. Podział odnawialnych źródeł energii  
Fig. 1. Distribution of renewable energy sources

Istnieje więc potrzeba znalezienia takiej konfiguracji funkcjonalnej suszarki daszkowej z hybrydowym generatorem ciepła, aby wykorzystanie energii niekonwencjonalnej było jak najbardziej efektywne. Na rys. 2 przedstawiono schemat suszarki daszkowej z recykulacją powietrza.

W suszarce tej powietrze suszące jest podgrzewane przez niekonwencjonalne źródło ciepła (NŹC), a następnie dodatkowo podgrzewane do wymaganej temperatury przez tradycyjne źródło ciepła (TŹC).

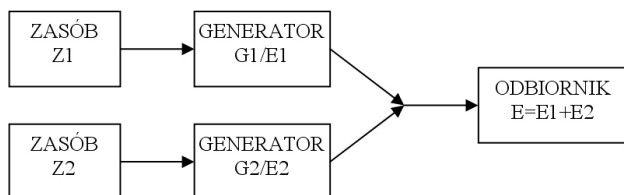
W tak skonfigurowanej suszarce daszkowej istnieje możliwość praktycznego wykorzystania wielu źródeł energii zarówno konwencjonalnej, jak i niekonwencjonalnej. Ze względów praktycznych najbardziej odpowiednie do zasilania suszarki wydają się być kolektory słoneczne lub nieduże elektrownie wiatrowe. Jednak ich zastosowanie wymaga wspomaganie przez tradycyjne źródło ciepła, którym najczęściej jest piec olejowy.



Rys. 2. Schemat suszarki daszkowej z recyrkulacją  
Fig. 2. Diagram of the recirculating mixed flow drier

### 3. Rozwiązanie

Hybrydowy system energetyczny stanowi w tym przypadku generator ciepła wytwarzanego przez funkcjonalny zestaw złożony z generatora konwencjonalnego i co najmniej jednego generatora niekonwencjonalnego. Przykładową konfigurację systemu suszącego z hybrydowym generatorem ciepła przedstawia rys. 3 [2].



Rys. 3. Hybrydowy system energetyczny  
Fig. 3. Hybrid energy system

Zaprezentowany na rys. 2 schemat suszarki daszkowej z recyrkulacją jest klasycznym przykładem hybrydowego systemu energetycznego.

Efektywnością energetyczną systemu jest iloraz użytecznych efektów (pozyskanej energii) do bezpośrednio poniesionych nakładów (zużytego nośnika energii) wyróżnionych jako funkcje czasu [3].

$$E(t) = \frac{U(t)}{N(t)} \quad (1)$$

gdzie:

$E$  – efektywność energetyczna systemu,  
 $U$  – użyteczne efekty energetyczne (pozyskana energia),  
 $N$  – nakłady bezpośrednie nośnika energii,  
 $t$  – czas.

System zasilania w energię (ciepło) suszarki daszkowej można zdekomponować, zgodnie z metodą zaproponowaną przez L. Powierzę [2, 3], a do oceny efektywności lokalnych systemów energetycznych mogą posłużyć wskaźniki efektywności. Zgodnie z tą metodą zbiór zmiennych systemu przyjmuje postać:

$$S = \{NP_K, NU_K, NP_N, NU_N, EP, EU\} \quad (2)$$

gdzie:

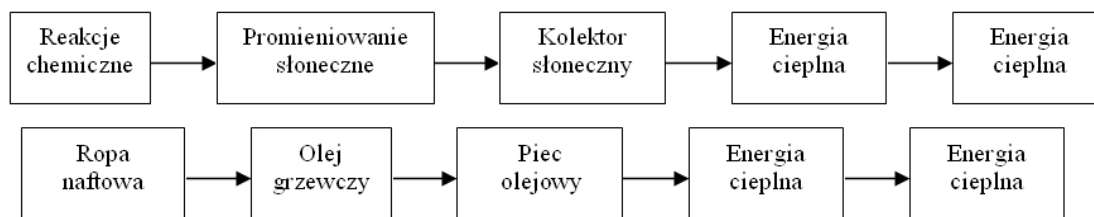
$NP_K$  – nośnik pierwotny energii konwencjonalnej,  
 $NU_K$  – nośnik użyteczny energii konwencjonalnej,  
 $NP_N$  – nośnik pierwotny energii niekonwencjonalnej,  
 $NU_N$  – nośnik użyteczny energii niekonwencjonalnej,  
 $EP$  – energia pierwotna,  
 $EU$  – energia użyteczna.

Ze względu na uniwersalność i wieloaspektowość terminów „nakład” oraz „efekt” należy liczyć się z występowaniem różnych miar zmiennych w zależności od rodzaju ocenianego systemu.

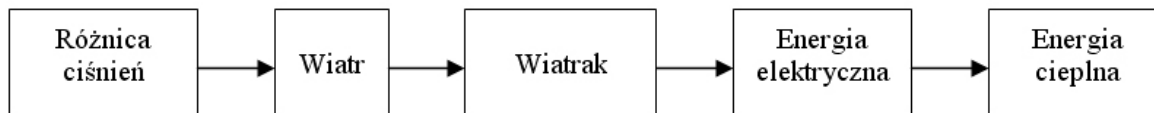
W ten sposób można dokonać dekompozycji systemu zasilania suszarki daszkowej z wykorzystaniem kolektora słonecznego i pieca (rys. 4).

Dla kolektora słonecznego nośnikiem pierwotnym będą reakcje chemiczne zachodzące na Słońcu [ilość], nośnikiem użytecznym będzie natężenie promieniowania słonecznego docierające do powierzchni Ziemi [ $\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ ], energią pierwotną i użyteczną będzie energia cieplna [ $\text{kWh}$ ] pozyskana przez kolektor słoneczny.

Dla tradycyjnego źródła ciepła nośnikiem pierwotnym będzie ropa naftowa [ $\text{kg}$ ], nośnikiem użytecznym będzie olej opałowy [ $\text{kg}$ ], zaś energią pierwotną i użyteczną będzie energia cieplna [ $\text{kWh}$ ] wytworzona przez piec olejowy.



Rys. 4. Dekompozycja systemu zasilania suszarki daszkowej wyposażonej w kolektor słoneczny  
Fig. 4. Decomposition of the power system of mixed flow drier equipped with a solar collector



Rys. 5. Dekompozycja systemu zasilania suszarki daszkowej wyposażonej w elektrownię wiatrową  
 Fig. 5. Decomposition of the power system of mixed flow drier equipped with wind power

Podobnie można dokonać dekompozycji systemu zasilanego elektrownią wiatrową, przy czym część zasilająca ze źródła konwencjonalnego będzie identyczna, jak w przypadku konfiguracji z kolektorem słonecznym (rys. 5).

Dla elektrowni wiatrowej nośnikiem pierwotnym będzie różnica ciśnień powietrza atmosferycznego [hPa], nośnikiem użytecznym będzie prędkość wiatru [ $m \cdot s^{-1}$ ], energią pierwotną będzie energia elektryczna [kWh], zaś energią użyteczną będzie energia cieplna [kWh].

Zbiory zmiennych systemów przyjmą postać:

$$S^{KS} = \{NP_K^{KS}, NU_K^{KS}, NP_N^{KS}, NU_N^{KS}, EP^{KS}, EU^{KS}\} \quad (3)$$

$$S^W = \{NP_K^W, NU_K^W, NP_N^W, NU_N^W, EP^W, EU^W\} \quad (4)$$

Przy doborze wskaźników należy wziąć pod uwagę, że w zaproponowanym hybrydowym systemie energetycznym wyposażonym w kolektor słoneczny energia pierwotna, jaką uzyskuje się z generatora jest wykorzystywana do podgrzania powietrza suszającego, nie ulega dalszemu przetworzeniu na inną formę energii, a więc równa jest energii użytecznej:

$$EP = EU \quad (5)$$

Z punktu widzenia oceny efektywności energetycznej zaproponowanego systemu hybrydowego, mając na względzie jak największe wykorzystanie energii ze źródła niekonwencjonalnego, najbardziej interesujące wydają się być wskaźniki:

$\frac{EU}{NP_K}$  – energia użyteczna do nośnika pierwotnego ze źródła konwencjonalnego,

$\frac{EU}{NU_K}$  – energia użyteczna do nośnika użytecznego ze źródła konwencjonalnego,

$\frac{NU_K}{NP_K}$  – nośnik użyteczny ze źródła konwencjonalnego do nośnika pierwotnego ze źródła konwencjonalnego,

$\frac{EU}{NU_N}$  – energia użyteczna do nośnika użytecznego ze źródła niekonwencjonalnego,

$\frac{NU_N}{NP_K}$  – nośnik użyteczny ze źródła niekonwencjonalnego do nośnika pierwotnego ze źródła konwencjonalnego,

$\frac{NU_N}{NU_K}$  – nośnik użyteczny ze źródła niekonwencjonalnego do nośnika użytecznego ze źródła konwencjonalnego.

W tabeli zamieszczono wyniki obliczeń wskaźników dla przykładowych systemów wyposażonych w kolektor słoneczny oraz elektrownię wiatrową.

Tabela. Wyniki obliczeń  
 Table. Results of calculations

	Kolektor słoneczny	Elektrownia wiatrowa
$\frac{EU}{NP_K}$	$5,07 \frac{kWh}{kg}$	$7,46 \frac{kWh}{kg}$
$\frac{EU}{NU_K}$	$21,25 \frac{kWh}{kg}$	$31,25 \frac{kWh}{kg}$
$\frac{NU_K}{NP_K}$	0,24	0,24
$\frac{EU}{NU_N}$	$68 \frac{1}{m^2}$	$50 \frac{kWh \cdot s}{m}$
$\frac{NU_N}{NP_K}$	$0,05 \frac{kWh}{m^2 \cdot kg}$	$0,15 \frac{m}{s \cdot kg}$
$\frac{NU_N}{NU_K}$	$0,21 \frac{kWh}{m^2 \cdot kg}$	$0,63 \frac{m}{s \cdot kg}$

Zaproponowaną w metodzie macierz wskaźników dla hybrydowych systemów energetycznych można rozszerzyć o nowe wskaźniki, które umożliwią pełniejszą ocenę systemów i bezpośrednie ich porównanie.

$$W = \left\{ \begin{array}{cccccc} \frac{NP_K^{KS}}{NP_K^W} & \frac{NU_K^{KS}}{NU_K^W} & \frac{NP_N^{KS}}{NP_N^W} & \frac{NU_N^{KS}}{NU_N^W} & \frac{EP^{KS}}{EP^W} & \frac{EU^{KS}}{EU^W} \\ \end{array} \right\} \quad (6)$$

#### 4. Wnioski

Zaprezentowana metoda oceny suszarek daszkowych z hybrydowym generatorem ciepła może być przydatna do wyboru najlepszej konfiguracji systemu suszającego. Umożliwia ona porównanie różnych konfiguracji suszarki daszkowej ze względu na zróżnicowanie systemu grzewczego. Rozszerzenie metody o dodatkowe wskaźniki umożliwi lepsze porównanie ze sobą poszczególnych systemów zasilania.

#### 5. Bibliografia

- [1] Dzierżanowski R.: Analiza różnych konfiguracji suszarek daszkowych z hybrydowym generatorem ciepła. Inżynieria Systemów Bioagrotechnicznych. Płock, 2005, Zeszyt 5(14), 31-38.
- [2] Powierża L.: Podstawy hybrydyzacji lokalnych systemów energetycznych. Wybrane zagadnienia mechaniki w budowie urządzeń technicznych. Płock, 2008, s. 37-49.
- [3] Powierża L.: Zarys inżynierii systemów bioagrotechnicznych. Instytut Technologii Eksploatacji, Radom, 1997.