



Jak obliczyć sprawność silników cieplnych?

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Film samouczek](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Jak obliczyć sprawność silników cieplnych?

Czy to nie ciekawe?

Wiele osób pasjonuje się nowymi modelami samochodów. Potrafią porównywać parametry ich silników i osiągnane przyspieszenia. Czy wiesz, że jednym z najważniejszych parametrów silnika cieplnego jest jego sprawność? To od sprawności zależy, jaką pracę można uzyskać z każdego dżula pobranego ciepła.



Fot 1. Samochód sportowy

Twoje cele

- dowiesz się, czym jest silnik cieplny,
- poznasz związek między ciepłem pobranym, oddanym i pracą wykonaną w jednym cyklu,
- poznasz definicję sprawności silnika cieplnego,
- dowiesz się, jaka jest maksymalna wartość sprawności silnika cieplnego,
- zastosujesz poznane wzory do obliczania sprawności silnika.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Silnik cieplny to urządzenie zamieniające energię cieplną na użyteczną pracę. Mówimy, że silnik pracuje w cyklu zamkniętym - pewien jego układ poddawany jest przemianom, które powtarzają się. Innymi słowy - połączenie ich wykresów tworzy jakąś zamkniętą krzywą. Aby silnik mógł pracować, potrzebne są dwa źródła ciepła: o wyższej temperaturze, zwane grzejnikiem i o niższej temperaturze, zwane chłodnicą. Z grzejnika w każdym cyklu pobierane jest ciepło, Q_p , część tego ciepła zamieniana jest na pracę, W , a pozostała część, Q_{od} , oddawana jest do chłodnicy. Z zasady zachowania energii wynika, że suma ciepła oddanego i wykonanej pracy równa jest ciepłu pobranemu.

$$Q_p = W + Q_{od}. \quad (1)$$

Praca wykonana w jednym cyklu jest więc różnicą między ciepłem pobranym i oddanym

$$W = Q_p - Q_{od}. \quad (2)$$

Ważnym parametrem każdego silnika jest jego sprawność, którą definiujemy jako stosunek pracy uzyskanej w jednym cyklu do pobranego ciepła,

$$\eta = \frac{W}{Q_p}. \quad (3)$$

Obliczmy sprawność silnika, który w jednym cyklu pobiera ciepło równe 850 J, a do chłodnicy oddaje ciepło równe 680 J.

Silnik wykonuje w jednym cyklu pracę

$$W = Q_p - Q_{od} = 850 \text{ J} - 680 \text{ J} = 170 \text{ J},$$

sprawność wynosi więc

$$\eta = \frac{W}{Q_p} = \frac{170 \text{ J}}{850 \text{ J}} = 0,2.$$

Oznacza to, że tylko 20% pobranego ciepła zamieniane jest na użyteczną pracę.

Dla konstruktorów silników cieplnych istotne jest ustalenie, od czego zależy sprawność silnika. Oczywiście jest, że konstrukcja powinna minimalizować wszelkie opory i tarcie między poruszającymi częściami, a także zapewniać jak najmniejsze rozpraszanie energii w otoczeniu. Ale nawet w idealnym silniku, w którym energia nie rozprasza się bezużytecznie, sprawność nie może przekroczyć wartości

$$\eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (4)$$

gdzie T_1 jest temperaturą grzejnika, a T_2 temperaturą chłodnicy. Powyższy wzór to sprawność idealnego silnika zwanego silnikiem Carnota (więcej informacji znajdziesz w e-materiale „Cykl Carnota”).

Wzór (4) można przedstawić w postaci:

$$\eta_{\max} = 1 - \frac{T_2}{T_1}. \quad (5)$$

Aby sprawność osiągnęła wartość 1, należy albo nieograniczenie zwiększać temperaturę grzejnika, albo obniżać temperaturę chłodnicy. Ale ani nieskończona, ani zerowa temperatura nie jest możliwa do osiągnięcia. Dlatego sprawność jest zawsze mniejsza od jedności i jest tym większa, im mniejszy jest stosunek $\frac{T_2}{T_1}$.



Fot. 1. Klimatyzator od środka. Czarna bańka to zbiornik z gazem, który po schłodzeniu przepuszczany jest przez radiator z wiatrakiem po prawej stronie

Obliczmy, o ile należałoby zwiększyć temperaturę grzejnika, aby podnieść sprawność idealnego silnika o 10%. Silnik ma sprawność 25%, a temperatura chłodnicy wynosi 27°C . Od teraz dla skrót u oznaczamy sprawność bez opisu „max”, ale pamiętajmy, że cały czas operujemy zależnościami dla silnika idealnego.

Temperaturę wyrażmy w skali **Kelwina**, $T_2 = 27^\circ\text{C} + 273\text{ K} = 300\text{ K}$.

Ze wzoru (5) możemy wyznaczyć początkową temperaturę grzejnika T_1 :

$$T_1 = \frac{T_2}{1-\eta} = \frac{300\text{ K}}{1-0,25} = \frac{300\text{ K}}{0,75} = 400\text{ K}.$$

Po zwiększeniu temperatury grzejnika do wartości T_1' sprawność silnika zwiększa się o 10%, wobec tego $\eta' = \eta + 0,1\eta = 1,1\eta$.

Wzór (5) ma postać:

$$1,1\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Stąd otrzymujemy:

$$T_1' = \frac{T_2}{1-1,1\eta} = \frac{300 \text{ K}}{1-0,275} = \frac{300 \text{ K}}{0,725} = 414 \text{ K}$$

Temperaturę grzejnika należałoby podnieść o 14 K (lub 14 °C).

Słowniczek

kelwin

(*ang.: kelvin*), (K) - jednostka temperatury w skali bezwzględnej. 0 K (zero absolutne) oznacza najniższą teoretycznie możliwą temperaturę, jaką może mieć ciało. Jest to temperatura, w której według fizyki klasycznej ustałby wszelki ruch cząsteczek. Przyrost temperatury o 1 K jest tożsamy z przyrostem o 1 °C. Wartość temperatury w skali Kelvina (skali bezwzględnej), T , otrzymujemy dodając 273,15 do wartości temperatury w skali Celsjusza, t .

moc

(*ang.: power*) - praca wykonana w jednostce czasu $P = \frac{W}{t}$. Jednostką mocy jest wat
 $1 \text{ W} = \frac{1\text{J}}{1\text{s}}$.

Film samouczek

Jak obliczyć sprawność silników cieplnych?

Polecenie 1

Obejrzyj film przedstawiający zadanie, w którym obliczono ciepło pobrane i oddane w jednym cyklu pracy silnika o podanej mocy i sprawności. Zwróć uwagę, jak wykorzystano parametry pracy silnika przy wykonywaniu obliczeń.

Trwa wczytywanie danych..

Film dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/D1FYNrD1R>

Polecenie 2

Jaka jest sprawność silnika cieplnego o mocy 140 kW, który w ciągu sekundy oddaje do chłodnicy ciepło równe 360 kJ?

Odp.:

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Wybierz prawdziwe stwierdzenie:

Sprawność silnika cieplnego to iloczyn pracy wykonanej w jednym cyklu i ciepła pobranego.

Sprawność silnika cieplnego to iloraz pracy wykonanej w jednym cyklu i ciepła pobranego.

Sprawność silnika cieplnego to iloraz pracy wykonanej w jednym cyklu i ciepła oddanego.

Ćwiczenie 2



Oblicz sprawność silnika cieplnego, który w jednym cyklu pobiera ciepło równe 25 kJ i wykonuje pracę równą 5500 J.

Odp.:

Ćwiczenie 3



Oblicz sprawność silnika cieplnego, który w jednym cyklu pobiera ciepło równe 5 kJ i oddaje ciepło równe 4,5 kJ.

Odp.:

Ćwiczenie 4



Wykonaj obliczenia i wstaw odpowiednią wartość, aby otrzymać poprawne stwierdzenie.

Sprawność silnika cieplnego, który w jednym cyklu wykonuje pracę równą 400 J i oddaje ciepło równe 2800 J wynosi %.

Ćwiczenie 5



Uzupełnij wzór na maksymalną sprawność silnika cieplnego.

T_1 oznacza temperaturę grzejnika, T_2 - temperaturę chłodnicy, Q_p - ciepło pobrane, Q_{od} - ciepło oddane.

$$\eta_{\max} = (\quad \quad \quad) \quad \quad \quad$$

Ćwiczenie 6



Idealny silnik cieplny ma sprawność 60%. Oblicz temperaturę chłodnicy, jeśli temperatura grzejnika wynosi 227°C .

Odp.: K lub $^\circ\text{C}$

Ćwiczenie 7



Oblicz sprawność silnika cieplnego, który pobrał z grzejnika 4 razy więcej energii, niż oddał do chłodnicy.

Odp.:

Ćwiczenie 8



Silnik o sprawności $\eta = 33\%$ wykonuje $n = 97$ cykli na sekundę. Moc silnika wynosi $P = 100$ kW. Oblicz, ile ciepła silnik pobiera w jednym cyklu.

Odp.: $Q_p =$ J

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Jak obliczyć sprawność silników cieplnych?
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa	<p>Cele kształcenia – wymagania ogólne</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p> <p>Zakres rozszerzony</p> <p>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem.</p> <p>VI. Termodynamika. Uczeń:</p> <p>16) analizuje przedstawione cykle termodynamiczne, oblicza sprawność silników cieplnych.</p>
Kształtowane kompetencje kluczowe:	<p>Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.</p> <ul style="list-style-type: none">• kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,• kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,• kompetencje cyfrowe,• kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	<p>Uczeń</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. objaśnia, czym jest silnik cieplny, objaśnia związek między ciepłem pobranym, oddanym i pracą wykonaną w jednym cyklu, 2. definiuje sprawność silnika cieplnego, podaje, jaka jest maksymalna wartość sprawności silnika cieplnego, 3. stosuje poznane wzory do obliczania sprawności silnika.
Strategie nauczania	strategia eksperymentalno-obszernacyjna (dostrzeganie i definiowanie problemów)
Metody nauczania	wykład informacyjny, pokaz multimedialny, analiza pomysłów
Formy zajęć:	praca w grupach, praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia
Materiały pomocnicze:	e-materiały „Co to jest silnik cieplny?“, „Cykl Carnota“, „Jak zanalizować cykle termodynamiczne?“, „Jak brzmi II zasada termodynamiki?“
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Wprowadzenie zgodnie z treścią w części „Czy to nie ciekawe?”. Odwołanie do wiedzy uczniów o silniku cieplnym.	
Faza realizacyjna:	
<p>Uczniowie z pomocą nauczyciela wymieniają warunki pracy silnika cieplnego. Nauczyciel przypomina definicję sprawności silnika. Uczniowie w dyskusji ustalają związek między ciepłem pobranym, oddanym i pracą wykonaną w 1 cyklu. Uczniowie w grupach obliczają sprawność silnika, korzystając z wartości ciepła pobranego i oddanego. Nauczyciel wprowadza pojęcie maksymalnej sprawności silnika i jej zależność od temperatur grzejnika i chłodnicy. Uczniowie w grupach obliczają, o ile należałoby zwiększyć temperaturę grzejnika, aby podnieść sprawność idealnego silnika o 10%.</p> <p>Uczniowie oglądają film-samouczek i wykonują powiązane z nim polecenia.</p>	
Faza podsumowująca:	
Uczniowie rozwiązują jedno z pozostałych zadań 5 – 8 z zestawu ćwiczeń.	
Praca domowa:	

Obowiązkowo zadania 1-3 i do wyboru 1 z pozostałych zadań z zestawu ćwiczeń.

**Wskazówki metodyczne
opisujące różne zastosowania
danego multimedium**

Film samouczek może być wykorzystany przez uczniów po lekcji do powtórzenia i utrwalenia materiału.